

Titulació:

Grau en Enginyeria en Tecnologies Industrials

Alumne (*nom i cognoms*):

M. Roser Sansó Alvarez-Ossorio

Títol TFG:

Estudi i anàlisi d'un sistema de baix cost amb un Arduino per la gestió de l'energia sobrant d'un sistema fotovoltaic

Director/a del TFG:

Jaume Figueras Jove

Codirector/a del TFG:

Antoni Guasch Petit

Convocatòria de lliurament del TFG:

10/01/2019 – Quadrimestre de tardor

Contingut d'aquest volum:

DOCUMENT 1 - MEMÒRIA



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA
BARCELONATECH

Escola Superior d'Enginyeries Industrial,
Aeroespacial i Audiovisual de Terrassa

ESTUDI I ANÀLISI D'UN SISTEMA DE BAIX COST AMB UN ARDUINO PER LA GESTIÓ DE L'ENERGIA SOBRANT D'UN SISTEMA FOTOVOLTAIC

TREBALL DE FI DE GRAU
Grau en Enginyeria en Tecnologies Industrials

Autora: M. Roser Sansó Alvarez-Ossorio

Director: Jaume Figueres Jove

Co-director: Antoni Guasch Petit

Data / Convocatòria: 10 de Gener de 2019 / QT 2018-2019

A mu mare, per ser el pilar que em sustenta.

A mon pare, per ser el terrat que em protegeix.

A n'en Jaume per voler créixer amb mi.

A "la chavalada" per tots els grans

moments que m'han regalat.

A na Maria i, sobretot a n'en Joan, per ser ca meva.

I, finalment, a Toni Guasch per acompanyar-me al llarg de tot aquest projecte i, a part de voler ensenyar-me, voler aprendre amb mí.

RESUM

Aquest projecte sorgeix de la necessitat d'incentivar a les persones a apostar per a l'energia solar fotovoltaica donada la situació que es viu en el marc Espanyol.

És un fet que, actualment, els recursos energètics de fonts no renovables s'estan esgotant i que l'efecte hivernacle, tot i ser conscients de que s'hauria d'intentar endarrerir la seva evolució, només fa que augmentar la seva presència any rere any.

Contradictòriament, a Espanya, essent un dels països amb més hores de sol, només es posen traves administratives i legals als usuaris que volen apostar per l'energia neta (com n'és, en el cas d'aquest projecte, l'energia fotovoltaica) degut a la legislació favorable a l'oligopoli del sector.

Així mateix, els usuaris que finalment es decideixen a optar per a la instal·lació de plaques es veuen obligats a seguir connectats a la xarxa (ja que un sistema aïllat no resulta econòmicament viable) i, a més a més, si produeixen un excedent d'energia l'han de volcar a la xarxa elèctrica sense cap retribució econòmica.

D'aquesta manera, aquest projecte pretén elaborar, mitjançant una sèrie de models realitzats amb AMPL (*A Mathematical Programming Language*) i una sèrie de simulacions fetes amb Arena, un sistema de baix cost per a que l'usuari pugui aprofitar el seu sobrant energètic per alimentar un electrodomèstic de molt consum i baixa potència.

Per tal de fer aquest sistema, s'ha decidit utilitzar la tecnologia Arduino donada la seva facilitat de programació i manipulació. També s'ha elaborat un prototip previ per a la simulació del sistema al laboratori abans de portar-lo a la realitat i veure'n el comportament.

No obstant això, resulta imprescindible comprovar la viabilitat econòmica del sistema ja que un dels objectius principals és esdevenir un estalvi significatiu per a l'usuari.

ABSTRACT

This project arises from the need to encourage people to opt for solar photovoltaic energy given the situation that is lived in the framework of Spain.

It is a fact that, currently, the energy resources of non-renewable sources are running out and that the greenhouse effect, despite being aware that it should be delayed, only increases its presence year after year.

In spite of, in Spain, being one of the countries with more hours of sunshine, only those who want to bet on clean energy (as in the case of this project, photovoltaic energy) are put through administrative and legal obstacles due to the favorable legislation to the oligopoly of the electric sector.

Likewise, the users who finally decide to opt for the installation of photovoltaic panels are forced to remain connected to the network (since an isolated system is not economically viable) and, moreover, if they produce an energetic surplus, they have to turn them into the power grid without any economic compensation.

In this way, this project aims to elaborate, through a serie of models carried out with AMPL (A Mathematical Programming Language) and a series of simulations made with Arena, a low cost system for the user to take advantage of their energy excess to power some electrical appliance with a high power consumption and low power.

In order to make this system, it has been decided to use Arduino for its ease of programming and manipulation. A previous prototype for simulation of the system has also been developed in the laboratory before taking it to reality.

However, it is essential to check the economic viability of the system, since one of the main objectives is to make significant savings for the user.

SUMARI DE CONTINGUTS

RESUM	1
ABSTRACT	2
1. INTRODUCCIÓ.....	8
1.1 <i>Objecte del projecte</i>	8
1.2 <i>Justificació del projecte.....</i>	8
1.3 <i>Especificacions bàsiques.....</i>	13
1.4 <i>Abast.....</i>	14
2. DESCRIPCIÓ D'UN SISTEMA FOTOVOLTAIC	15
2.1 <i>Energia solar fotovoltaica</i>	15
2.1.1 <i>Cèl·lules fotovoltaiques</i>	16
2.1.2 <i>Bateria</i>	18
2.1.3 <i>Inversor</i>	21
2.1.4 <i>Controlador</i>	21
2.1.5 <i>Càrregues</i>	22
2.1.6 <i>Diagrama de la instal·lació</i>	22
3. MARC LEGISLATIU SOBRE AUTOCONSUM ELÈCTRIC EN L'ÀMBIT ESPANYOL	24
3.1 <i>Normativa vigent sobre un sistema d'autoconsum fotovoltaic.....</i>	26
3.1.1 <i>Reial Decret 661/2007</i>	28
3.1.2 <i>Reial Decret 1110/2007</i>	28
3.1.3 <i>Reial Decret 1699/2011</i>	28
3.1.4 <i>Reial Decret 1/2012</i>	29
3.1.5 <i>Reial Decret 900/2015</i>	29
3.1.6 <i>Reial Decret-Llei 15/2018</i>	30
3.2 <i>Preu de l'electricitat i tendència del mercat.....</i>	30

3.3	<i>Sistema de subministrament</i>	34
4.	MODEL D'OPTIMITZACIÓ PANELLS FOTOVOLTAICS	36
4.1	<i>Funció objectiu</i>	37
4.2	<i>Declaració de variables i paràmetres. Restriccions.</i>	37
4.3	<i>Dades</i>	39
4.4	<i>Resolució</i>	41
4.5	<i>Validació del model</i>	42
5.	MODEL D'OPTIMITZACIÓ BATERIA	44
6.	SIMULACIÓ	47
6.1	<i>Resultats simulació</i>	50
6.1.1	<i>Simulació 1</i>	50
6.1.2	<i>Simulació 2</i>	55
6.1.3	<i>Comparativa simulació 1 i simulació 2</i>	59
7.	ELEMENTS DE CONTROL I GESTIÓ	60
8.	PROVES DEL SISTEMA A LABORATORI	62
9.	MUNTATGE I FUNCIONAMENT DEL SISTEMA	67
10.	RESUM DE RESULTATS	75
10.1	<i>Resum del pressupost</i>	75
10.2	<i>Estudi de viabilitat econòmica</i>	76
10.3	<i>Planificació</i>	78
10.4	<i>Conclusions i recomanacions de continuïtat</i>	78
11.	BIBLIOGRAFIA	81

11.1	<i>Bibliografia consultada</i>	81
11.2	<i>Documents electrònics</i>	81
11.3	<i>Bibliografia de figures</i>	83
11.4	<i>Bibliografia de gràfics</i>	85
11.5	<i>Bibliografia de taules</i>	86
11.6	<i>Normativa consultada</i>	86

SUMARI DE DOCUMENTS ANNEXES

Annex I.	Planificació inicial del projecte	88
Annex II.	Dades de radiació de la zona d'interés	88
Annex III.	Model per a la selecció del nombre òptim de panells fotovoltaics	88
Annex IV.	Estudi ECOO Revolución solar.....	88
Annex V.	Model per a la selecció de la bateria	88
Annex VI.	Fitxa tècnica Bateria Ultracell UCG-230-12	88
Annex VII.	Fitxa tècnica de l'inversor de corrent Spannungswandler	88
Annex VIII.	Fitxa tècnica Carregador Blue Smart IP22	88
Annex IX.	Model Simulació 1 Arena	88
Annex X.	Model Simulació 2 Arena	88
Annex XI.	Excel amb el tractament de dades de la Simulació 1	88
Annex XII.	Excel amb el tractament de dades de la Simulació 2	88
Annex XIII.	Fitxa tècnica Arduino Mega2560	88
Annex XIV.	Fitxa tècnica SCT-013-030.....	88
Annex XV.	Fitxa tècnica sensor FZ0430	88
Annex XVI.	Fitxa tècnica relé HLS8L	88
Annex XVII.	Excel per determinar l'estalvi en 25 anys considerant l'increment del preu de l'electricitat	88
Annex XVIII.	Excel per a determinar el VAN i la TIR de la inversió.....	88

SUMARI DE FIGURES

Figura 1. Perspectiva global de l'origen de l'energia primària	9
Figura 2. Efecte fotovoltaic en un panell solar	15
Figura 3. Estructura d'una cèl·lula monocristal·lina	16
Figura 4. Estructura d'una cèl·lula policristal·lina	17
Figura 5. Tipus de panells solars fotovoltaics	18
Figura 6. Cicle de càrrega d'una bateria	20
Figura 7. Funcionament sistema solar fotovoltaic connectat a la xarxa	22
Figura 8. Potència solar instal·lada en el món en l'any 2008 (Espanya contava amb un 25'8%)	25
Figura 9. Potència solar instal·lada en el món en l'any 2017 (Espanya contava amb un 1'5%)	25
Figura 10. Esquema sistema de subministrament espanyol	34
Figura 11. Zones d'actuació de les principals distribuïdores	35
Figura 12. Fotografia de la llar unifamiliar estudiada en el projecte	36
Figura 13. Esquema del muntatge per les proves	63
Figura 14. Placa Arduino Mega 2560	67
Figura 15. Esquema connexió SCT-013-030 i offset DC en Protoboard i Arduino	68
Figura 17. Esquema connexió sensor FZ0430	69
Figura 19. Esquema connexió relé	69
Figura 20. Com es troba el circuit quan el relé està apagat segons el terminal	70

SUMARI DE GRÀFICS

Gràfic 1. Evolució de l'energia elèctrica renovable i no renovable peninsular (%)	10
Gràfic 2. Evolució de la producció d'energia elèctrica renovable i no renovable (%)	11
Gràfic 3. Estructura de la generació anual d'energia elèctrica renovable peninsular al 2017 (%)	11
Gràfic 4. Evolució del cost d'implementació d'un sistema solar PV	12
Gràfic 5. Producció energètica mensual del sistema fotovoltaic	40
Gràfic 6. Corba de relació entre el DOD i el nombre de cicles	45
Gràfic 7. Relació entre el cost (€) i la capacitat (Ah) de la bateria	45

Gràfic 8. Resultats de la simulació 1 amb Arena	51
Gràfic 9. Resultats de la simulació 2 amb Arena	57

SUMARI DE TAULES

Taula 1. Taxa de càrrega (esquerra) i descàrrega (dreta) en funció de la bateria	20
Taula 2. Preu del kWh de llum en 2018	32
Taula 3. Preu amb tarifa PVPC segons la potència contractada	33
Taula 4. Costos de la instal·lació fotovoltaica segons el nombre de panells	38
Taula 5. Producció diària estimada per placa mes a mes	40
Taula 6. Producció hora a hora d'un panell fotovoltaic de 250 W.	41
Taula 7. Comparativa model 5 panells i model 9 panells	42
Taula 8. Resum de resultats de la simulació amb Arena d'un dia tipus	50
Taula 9. Comparativa econòmica del cost energètic amb i sense sistema de gestió a partir de la simulació 1	52
Taula 10. Estalvi econòmic en 25 anys segons el DOD de la bateria	53
Taula 11. Resum de resultats de la simulació Arena d'un dia tipus amb les dades actualitzades	54
Taula 12. Estalvi econòmic en 25 anys segons el DOD de la bateria considerant les dades actualitzades	55
Taula 13. Resum de resultats de la simulació 2 amb Arena d'un dia tipus	55
Taula 14. Comparativa econòmica del cost energètic amb i sense sistema de gestió a partir de la simulació 2	57
Taula 15. Estalvi econòmic en 25 anys segons el DOD de la bateria (Simulació 2)	58
Taula 16. Resum del pressupost.....	75
Taula 17. Resum pressupost actualitzat per a la viabilitat econòmica	76
Taula 18. Resum de resultats.....	77

SUMARI DE DIAGRAMES

Diagrama 1. Diagrama de blocs del funcionament del sistema estudiat en el projecte.....	23
Diagrama 2. Algorisme de construcció del model base per a la simulació del sistema de gestió.....	48
Diagrama 3. Esquema de muntatge del sistema primari per a simulacions	62

 <div>UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH</div> <div>Escola Superior d'Enginyeries Industrial, Aeroespacial i Audiovisual de Terrassa</div>	Treball de Fi de Grau -Memòria-	Data 10/01/2019
		pàgina 8 de 88
ESTUDI I ANALISI D'UN SISTEMA DE BAIX COST AMB UN ARDUINO PER LA GESTIO DE L'ENERGIA SOBRANT D'UN SISTEMA FOTOVOLTAIC		

1. INTRODUCCIÓ

1.1 *Objecte del projecte*

Aquest projecte té per objectiu l'estudi, anàlisi i disseny d'un sistema de baix cost fent ús d'un Arduino per tal de derivar el sobrant d'energia d'un sistema fotovoltaic domèstic connectat a la xarxa cap a una bateria. Aquesta bateria tindrà la funció d'alimentar mitjançant un inversor aquells electrodomèstics que requereixen poca potència però tenen molt consum elèctric, com poden ser les neveres.

Cal esmentar que la tasca de l'Arduino consistirà en gestionar la càrrega de la bateria utilitzant, com s'ha dit anteriorment, l'energia sobrant del sistema o l'energia de menys cost de les hores vall. La càrrega serà feta per un carregador connectat a la xarxa elèctrica de la casa però la decisió de permetre la càrrega serà presa per l'Arduino.

1.2 *Justificació del projecte*

El sistema elèctric espanyol actual esdevé un oligopoli on un nombre reduït d'empreses concentren tots els recursos i exploten una necessitat bàsica com n'és l'electricitat. Aquestes empreses són les que alenteixen l'evolució del model elèctric cap a l'autoconsum amb la perspectiva de no perdre el seu poder sobre el subministra i el transport.

Com és evident, els privilegis que obté un oligopoli tenen les seves bases en la connivència del poder polític, obtenint per part d'aquest una legislació favorable en el cas del sector elèctric.

D'aquesta manera, i considerant l'elevat cost d'un sistema d'autoconsum, aquest projecte pretén proporcionar als petits productors d'energia fotovoltaica una via intermedia per a que sigui més atractiva la instal·lació de panells solars. Aquesta via intermèdia esta entre una instal·lació connectada a xarxa sense bateria i una instal·lació amb una bateria integrada.

 <div>UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH</div> <div>Escola Superior d'Enginyeries Industrial, Aeroespacial i Audiovisual de Terrassa</div>	<div>Treball de Fi de Grau</div> <div>-Memòria-</div>	<div>Data</div> <div>10/01/2019</div>
		<div>pàgina</div> <div>9 de 88</div>
<div>ESTUDI I ANALISI D'UN SISTEMA DE BAIX COST AMB UN ARDUINO PER LA GESTIO DE L'ENERGIA SOBRANT D'UN SISTEMA FOTOVOLTAIC</div>		

Cal dir que els principals motius que generen la necessitat d'aquest projecte es poden dividir en tres grans blocs: el canvi climàtic, les traves legals i l'elevat cost que suposa un model energètic d'autoconsum a la llar.

En primer lloc, el canvi climàtic és l'evolució climatològica produïda per l'activitat humana que consisteix en una alteració de la composició de l'atmosfera a nivell mundial i que es suma a la variació cíclica que ha sofert la Terra al llarg de la història.

Donat que el potencial impacte del canvi climàtic afecta a tothom i les seves conseqüències no només són un fenomen ambiental sinó que afecten social i econòmicament, són diversos els plans d'acció que s'han posat en marxa a nivell mundial.

És interessant esmentar que la preocupació social per al medi ambient va néixer al 1950. L'any 1968 es va crear el club de Roma i a principis de la dècada dels setanta el Consell d'Europa va aprovar el primer programa d'acció comunitària en afers ambientals.

Uns quants anys després, donat que tal preocupació anava en augment degut a la rapidesa en que avança l'escalfament global i per tal de posar fre al canvi climàtic, al 2012 s'aprovà el programa europeu *VII EU Environment Action Programme to 2020* amb el principi de qui contamina paga.

És en aquest marc on apareix la promoció de les energies renovables per tal de reduir les emissions de CO₂ a l'atmosfera que propicien l'augment de l'efecte hivernacle i acceleren el canvi climàtic. Així com per a presentar una alternativa a la producció energètica a partir de combustibles fòssils que, de cada vegada són més les veus que recolzen que poden esgotar-se els jaciments i que, a més a més, produeixen una elevada quantitat de contaminants que agreugen la situació del planeta.

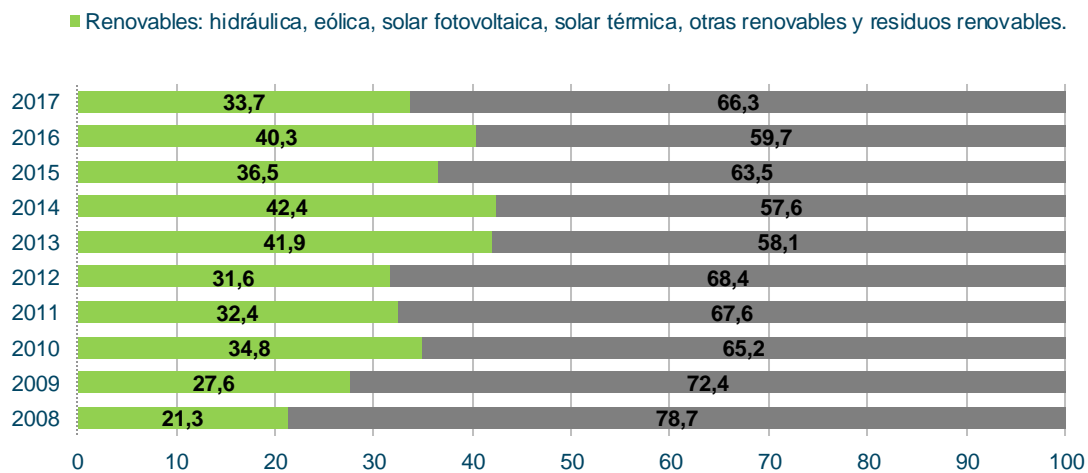
ENERGIA PRIMÀRIA MUNDIAL Origen	85 % no renovable origen fòssil 6,5 % no renovable origen nuclear 7 % energia hidroelèctrica 1,3 % energia renovable
--	---

Figura 1. Perspectiva global de l'origen de l'energia primària

Font: Elaboració pròpia a partir de la informació extreta de Introduction to environmental issues related to the industry (Departament de Medi Ambient ESEIAAT)

 <div>UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH</div> <div>Escola Superior d'Enginyeries Industrial, Aeroespacial i Audiovisual de Terrassa</div>	<div>Treball de Fi de Grau</div> <div>-Memòria-</div>	<div>Data</div> <div>10/01/2019</div>
		<div>pàgina</div> <div>10 de 88</div>
<div>ESTUDI I ANALISI D'UN SISTEMA DE BAIX COST AMB UN ARDUINO PER LA GESTIÓ DE L'ENERGIA SOBRANT D'UN SISTEMA FOTOVOLTAIC</div>		

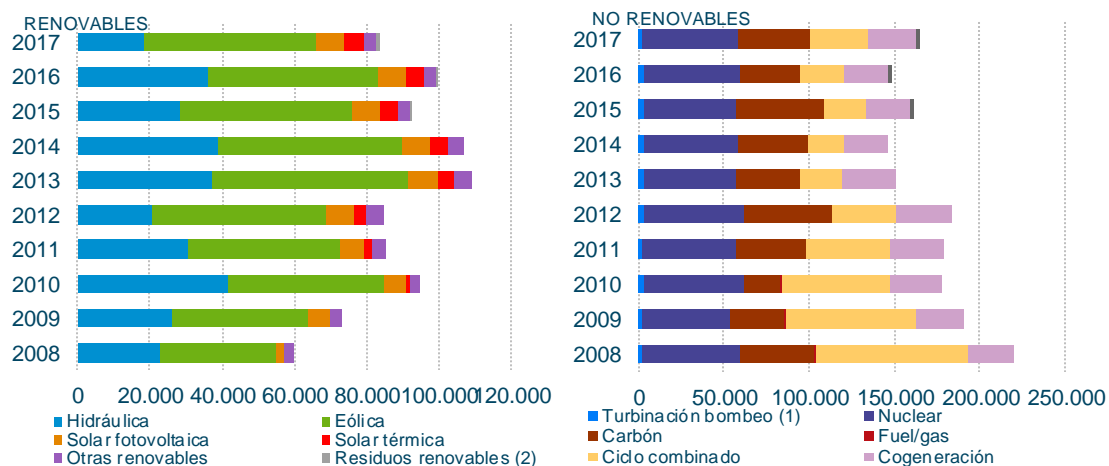
Pel que fa a Espanya, zona geogràfica on es centra aquest projecte, segons l'informe del Sistema Elèctric Espanyol del 2017 (REE, 2018), les emissions de CO₂ han augmentat en un 17,9% front a l'any anterior degut a la menor participació de les energies renovables. Tot i que aquesta reducció pot ser conseqüència de l'impacte de la sequera sobre la producció hidràulica, es pot veure que la contribució de les energies renovables al mix elèctric ha pres el valor més baix dels últims cinc anys, essent d'un 33,7% (veure *Gràfic 1*) . Aquesta frenada en el creixement pot ser a causa dels canvis legislatius que han provocat una disminució de l'interès per aquest tipus d'energia neta degut a la incertesa jurídica.



Gràfic 1. Evolució de l'energia elèctrica renovable i no renovable peninsular (%)

Font: Red Eléctrica de España, 2018.

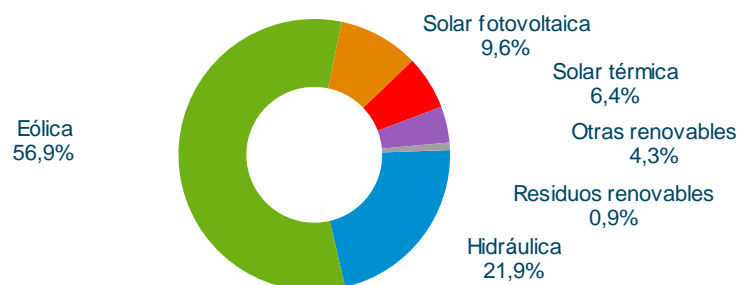
Evidentment, la baixa producció d'energia hidràulica ha provocat un augment de la generació d'energia a partir de combustibles fòssils, principalment a partir de les centrals de cicle combinat i de carbó.



Gràfic 2. Evolució de la producció d'energia elèctrica renovable i no renovable (%)

Font: Red Eléctrica de España, 2018.

És doncs al voltant d'aquest escenari on el petit consumidor ha trobat en les plaques fotovoltaïques una alternativa atractiva per tal de millorar la demanda energètica de casa seva i produir autònomament una part d'aquesta energia.



Gràfic 3. Estructura de la generació anual d'energia elèctrica renovable peninsular al 2017 (%)

Font: Red Eléctrica de España, 2018.

L'energia solar fotovoltaica obté l'electricitat directament de la radiació solar mitjançant un dispositiu semiconductor (cèl·lula fotovoltaica) o per deposició de metalls sobre un substrat (cèl·lula solar de pel·lícula fina).

Convé destacar que l'energia solar depèn de la franja horària i de la climatologia diària. És per aquest motiu, i pel fet que a Espanya no hi ha cap tipus de retribució econòmica pel

 <div>UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH</div> <div>Escola Superior d'Enginyeries Industrial, Aeroespacial i Audiovisual de Terrassa</div>	Treball de Fi de Grau -Memòria-	Data 10/01/2019
		pàgina 12 de 88
ESTUDI I ANALISI D'UN SISTEMA DE BAIX COST AMB UN ARDUINO PER LA GESTIO DE L'ENERGIA SOBRANT D'UN SISTEMA FOTOVOLTAIC		

sobrant d'energia, que és interessant utilitzar-la en les franges on no hi ha producció emmagatzemant-la en sistemes de bateries.

Atès als grans avenços tecnològics en aquest àmbit, el cost de l'energia solar fotovoltaica s'ha reduït de forma constant des de la fabricació de les primeres cèl·lules comercials i el cost mitjà de producció ja és competitiu amb les fonts d'energia convencionals. Aquest fet ha propiciat que aquest tipus d'inversió hagi vist un increment en el seu rendiment.

Segons un estudi realitzat per IRENA (*International Renewable Energy Agency*) (IRENA, 2014) el preu de les plaques solars fotovoltaïques es va veure reduït entre un 65% i un 75% entre 2010 i 2013 amb una tendència a la baixa en el futur.



Gràfic 4. Evolució del cost d'implementació d'un sistema solar PV

Font: IRENA (2014)

És doncs com a conseqüència d'aquests factors que la demanda de sistemes amb plaques, ja siguin aïllats o amb connexió a la xarxa elèctrica, ha observat un important creixement.

A primera vista, el sistema més idoni per al consumidor seria un sistema amb bateries, ja que si s'instal·la una bateria com a part d'un sistema d'autoconsum energètic, es pot emmagatzemar l'excés d'energia en lloc d'enviar-lo a la xarxa o carregar-la durant els rangs d'hores on l'energia és més barata i consumir l'energia en les hores pic. A més a més, en

 <div>UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH</div> <div>Escola Superior d'Enginyeries Industrial, Aeroespacial i Audiovisual de Terrassa</div>	<div>Treball de Fi de Grau</div> <div>-Memòria-</div>	<div>Data</div> <div>10/01/2019</div>
		<div>pàgina</div> <div>13 de 88</div>
<div>ESTUDI I ANALISI D'UN SISTEMA DE BAIX COST AMB UN ARDUINO PER LA GESTIO DE L'ENERGIA SOBRANT D'UN SISTEMA FOTOVOLTAIC</div>		

l'última dècada el preu de les bateries ió-liti ha disminuït en un 60 % i, segons Bloomberg (Bloomberg, 2018), seguirà baixant. Aquest fet fa que pugui resultar atractiu tot i que una instal·lació d'aquest tipus és encara difícilment amortitzable.

D'aquesta manera, es decideix combinar plaques fotovoltaïques amb una connexió a la xarxa ja que aporta seguretat al consumidor (la xarxa esdevé en un suport temporal en cas d'un persistent mal temps) i permet fer una menor inversió en comparació al sistema aïllat.

Cal esmentar també que, tot i que s'opta per al sistema amb bateries, el marc legislatiu actual no permet l'ús intel·ligent d'aquestes per tal de carregar-les en les franges diàries on l'energia és més barata, consumir l'energia emmagatzemada en les hores pic ni permet abaratir costos mitjançant la reducció de potència. Per tot l'esmentat, aquest projecte pretén donar una alternativa mitjançant una via intermèdia que no entri en conflicte amb la normativa vigent i permeti a l'usuari aprofitar el seu excedent d'energia.

1.3 *Especificacions bàsiques*

Els elements que conformen el projecte han de complir els següents requisits:

- El sistema de gestió ha d'estar basat en la tecnologia Arduino.
- La capacitat de la bateria ha de ser la suficient per alimentar els electrodomèstics seleccionats en les hores pic.
- El sistema de gestió basat en Arduino ha de protegir la bateria de descarregues excessives amb l'objectiu d'allargar la vida útil de la bateria.
- El sistema de gestió ha de permetre la introducció dels paràmetres bàsics operatius (capacitat de la bateria, profunditat de descàrrega màxima recomanada, hores pic, ...).
- El sistema de gestió ha de proporcionar informació per conèixer l'estat del sistema i emmagatzemar dades històriques pel seu posterior anàlisi.
- El carregador ha de permetre una carrega completa de la bateria si hi ha energia sobrant suficient.
- L'inversor ha de tenir la potència adequada als electrodomèstics que ha d'alimentar.

 <div>UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH</div> <div>Escola Superior d'Enginyeries Industrial, Aeroespacial i Audiovisual de Terrassa</div>	<div>Treball de Fi de Grau</div> <div>-Memòria-</div>	<div>Data</div> <div>10/01/2019</div>
		<div>pàgina</div> <div>14 de 88</div>
<div>ESTUDI I ANALISI D'UN SISTEMA DE BAIX COST AMB UN ARDUINO PER LA GESTIO DE L'ENERGIA SOBRANT D'UN SISTEMA FOTOVOLTAIC</div>		

1.4 Abast

L'abast d'aquest projecte és l'estudi d'un model òptim d'un sistema fotovoltaic entre un conjunt acotat de sistemes que es diferencien per la potència de la instal·lació. La selecció es portarà a terme mitjançant el programa AMPL.

També es realitzarà el disseny d'un sistema de baix cost amb Arduino que permeti una solució front el sobrant energètic d'una llar connectada a la xarxa i que permeti maximitzar la rendibilitat de l'usuari. Aquest disseny es farà considerant un model previ d'optimització de la capacitat de la bateria i una sèrie de simulacions amb Arena per tal de preveure'n el comportament.

De forma esquemàtica es portaran a terme les següents tasques:

- Estudi del marc actual que envolta els sistemes fotovoltaics en l'àmbit no industrial.
- Resolució mitjançant programació lineal amb el software AMPL d'un model que trobi el nombre òptim de panells que ha de tenir la llar unifamiliar d'estudi.
- Validació del model obtingut a partir d'un altre estudi no propi.
- Realització d'un model d'optimització de la bateria.
- Selecció de la gestió de càrrega de la bateria a partir de simulacions amb Arena.
- Selecció de bateria, carregador i inversor del sistema de baix cost a fabricar.
- Selecció dels elements de control/gestió.
- Programació i proves tècniques.

No s'inclourà en aquest projecte ni la instal·lació ni el dimensionat de les plaques solars ni la part tècnica que això comporta. D'altra banda, sí que es dissenyarà el sistema format per l'Arduino i la bateria.

 <div>UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH</div> <div>Escola Superior d'Enginyeries Industrial, Aeroespacial i Audiovisual de Terrassa</div>	<div>Treball de Fi de Grau</div> <div>-Memòria-</div>	<div>Data</div> <div>10/01/2019</div>
		<div>pàgina</div> <div>15 de 88</div>
<div>ESTUDI I ANALISI D'UN SISTEMA DE BAIX COST AMB UN ARDUINO PER LA GESTIÓ DE L'ENERGIA SOBRANT D'UN SISTEMA FOTOVOLTAIC</div>		

2. DESCRIPCIÓ D'UN SISTEMA FOTVOLTAIC

2.1 Energia solar fotovoltaica

L'energia solar fotovoltaica és aquella que transforma directament la llum solar en electricitat utilitzant l'anomenat efecte fotovoltaic (veure *Figura 2*). Aquest efecte s'aconsegueix combinant dues capes de semiconductors, una de les quals té una manca d'electrons. D'aquesta manera, aprofitant les propietats d'aquest material, quan incideix la radiació del sol a una de les cares de les cèl·lules fotoelèctriques (material semiconductor), aquesta absorbeix els fotons produint una diferència de potencial elèctric entre ambdues cares que fa que els electrons s'excitin i 'saltin' a l'altra capa, generant així un corrent elèctric.

Un dels principals atractius d'aquest tipus d'energia és el seu caràcter inesgotable i no contaminant, per la qual cosa es contribueix al desenvolupament sostenible. D'altra banda, un dels inconvenients dels panells solars pot ser l'impacte visual que representen si no s'intenta integrar-los en el lloc d'instal·lació i els agents químics presents en les bateries (en el supòsit de necessitar-les).

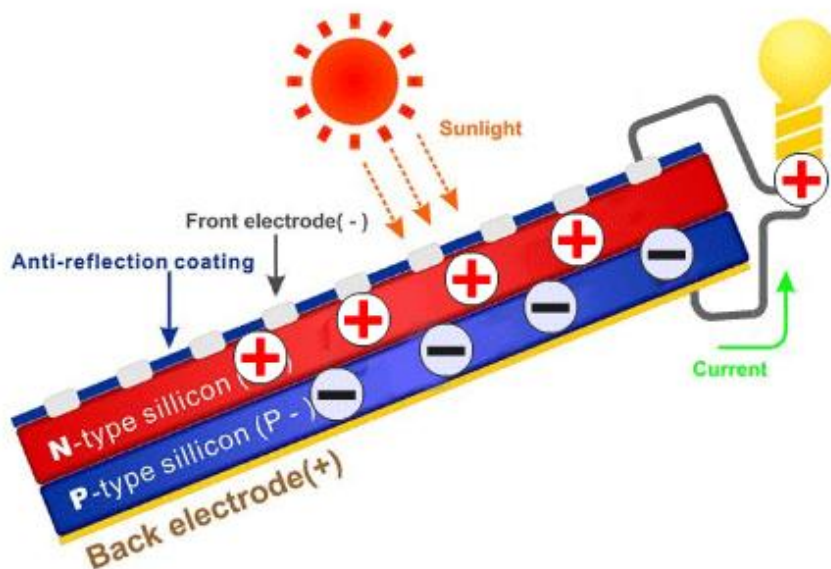


Figura 2. Efecte fotovoltaic en un panell solar

Font: Certificados Energeticos, 2015.

 <div>UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH</div> <div>Escola Superior d'Enginyeries Industrial, Aeroespacial i Audiovisual de Terrassa</div>	<div>Treball de Fi de Grau</div> <div>-Memòria-</div>	<div>Data</div> <div>10/01/2019</div>
		<div>pàgina</div> <div>16 de 88</div>
<div>ESTUDI I ANALISI D'UN SISTEMA DE BAIX COST AMB UN ARDUINO PER LA GESTIO DE L'ENERGIA SOBRANT D'UN SISTEMA FOTOVOLTAIC</div>		

2.1.1 Cèl·lules fotovoltaiques

Com ja s'ha comentat abans, les cèl·lules fotovoltaiques són uns components formats per materials semiconductors que desprenen electrons quan els fotons incideixen sobre elles. Un panell solar està format per la combinació de diverses cèl·lules degut al baix voltatge d'aquestes (en general, 5V) i, a més a més, es poden connectar en sèrie o en paral·lel en funció dels valors de tensió i intensitat desitjats.

El material base per a la fabricació de panells solars sol ser el silici i, depenent de la disposició dels àtoms d'aquest, es poden diferenciar diferents tipus de cèl·lules fotovoltaiques.

Segons l'estructura interna del material que conforma les cèl·lules de silici es poden classificar en:

- Cèl·lules monocristal·lines: estan compostes de seccions d'un únic cristall de silici. Presenten un bon rendiment (d'entre el 15 % i el 21 %) (Energías Renovables, 2014) i una bona relació potència-superfície (aprox. 150 Wp/m²). No obstant, el seu procés de fabricació és complexa pel que solen tenir un cost més elevat. S'optarà per aquest tipus de solució quan es disposi d'un espai limitat i es requereixi una elevada potència.



Figura 3. Estructura d'una cèl·lula monocristalina

Font: Europe SunFields.

 <div>UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH</div> <div>Escola Superior d'Enginyeries Industrial, Aeroespacial i Audiovisual de Terrassa</div>	Treball de Fi de Grau -Memòria-	Data 10/01/2019
		pàgina 17 de 88
ESTUDI I ANALISI D'UN SISTEMA DE BAIX COST AMB UN ARDUINO PER LA GESTIO DE L'ENERGIA SOBRIANT D'UN SISTEMA FOTOVOLTAIC		

- Cèl·lules policristal·lines: el silici es refreda dins un motlle, fet que provoca que es formin diversos cristalls. La seva eficiència està entorn al 14% (Energías Renovables, 2014) i, donat que són més fàcils de fabricar, són més econòmiques que les anteriors. Així doncs, donada la poca diferència en l'eficiència i la millora en el preu, aquest tipus de cèl·lula es converteix en la millor opció per a ser utilitzades en diverses aplicacions.



Figura 4. Estructura d'una cèl·lula policristal·lina

Font: Europe SunFields.

Cal dir també que, per tal d'abaratir els costos de producció s'estan portant a terme diverses investigacions cap a l'ús d'altres materials com el diòxid de titani. Tot i així, encara s'ha de fer front a l'inconvenient de la seva baixa eficiència ja que aquest tipus de material només absorbeix la banda de llum UV. Així doncs, considerant que la seva eficiència és d'aproximadament un 7 % (El periódico de la energía, 2017), encara no presenten competència a les de silici.

Un altre tipus de cèl·lula fotovoltaica bastant comuna és la de làmina fina o de segona generació. Aquest col·lectiu està format per les cèl·lules amorfes de silici, les de cadmi-tel·luri (CdTe) i les de coure, indi, gal·li i seleni (CIGS). El principal avantatge que presenten els materials de làmina fina és la seva capacitat d'absorció dels fotons (100 vegades major que les cèl·lules mono- o poli- Si). A més a més, aquest tipus de cèl·lula té menys pèrdues

 <div>UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH</div> <div>Escola Superior d'Enginyeries Industrial, Aeroespacial i Audiovisual de Terrassa</div>	<div>Treball de Fi de Grau</div> <div>-Memòria-</div>	<div>Data</div> <div>10/01/2019</div>
		<div>pàgina</div> <div>18 de 88</div>
<div>ESTUDI I ANALISI D'UN SISTEMA DE BAIX COST AMB UN ARDUINO PER LA GESTIO DE L'ENERGIA SOBRANT D'UN SISTEMA FOTOVOLTAIC</div>		

d'eficiència tèrmica i absorbeix més energia de l'espectre blau, la qual cosa fa que es produeixi més energia que en els altres tipus de plaques en condicions de meteorologia adversa. L'eficiència dels mòduls de capa fina està entre el 7 % i el 13 % (Energías Renovables, 2014).

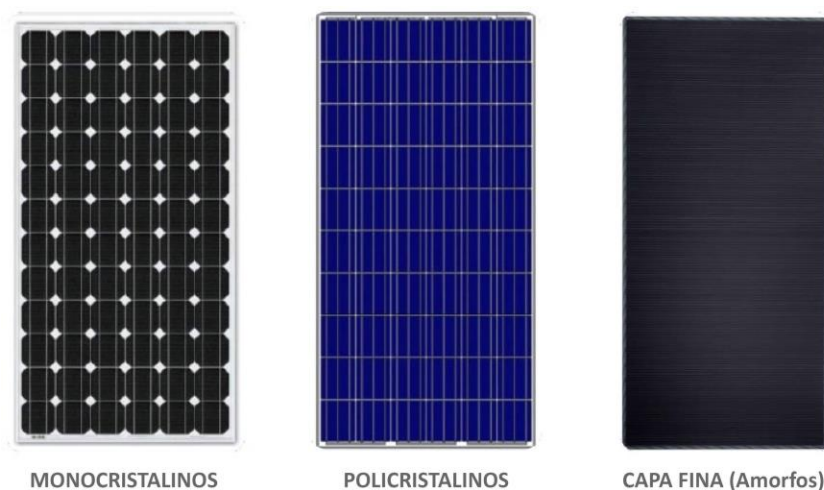


Figura 5. Tipus de panells solars fotovoltaics

Font: Tritec-intervento.

2.1.2 Bateria

S'anomena bateria o pila a aquell dispositiu que es capaç d'acumular energia elèctrica i subministrar-la o bé que genera energia elèctrica mitjançant la transformació d'energia d'una reacció química per un procés electroquímic.

Es poden diferenciar dos tipus de bateries: les piles d'un sol ús (bateries primàries) i les bateries recarregables (acumuladors o bateries secundàries). La principal diferència entre ambdós tipus és que les bateries d'un sol ús, quan s'esgoten els reactius, s'esgota la pila. Un exemple de bateria primària és la pila alcalina i, d'altra banda, un exemple de secundària en seria la bateria d'ió-liti.

Una bateria està formada per dues o més cel·les electroquímiques connectades en sèrie (a més voltatge requerit, més cel·les). Cada una d'aquestes cel·les té un ànode (+) i un càtode (-) combinat amb un electròlit (substància que conté ions lliures en la seva composició).

 <div>UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH</div> <div>Escola Superior d'Enginyeries Industrial, Aeroespacial i Audiovisual de Terrassa</div>	<div>Treball de Fi de Grau</div> <div>-Memòria-</div>	<div>Data</div> <div>10/01/2019</div>
		<div>pàgina</div> <div>19 de 88</div>
<div>ESTUDI I ANALISI D'UN SISTEMA DE BAIX COST AMB UN ARDUINO PER LA GESTIO DE L'ENERGIA SOBRANT D'UN SISTEMA FOTOVOLTAIC</div>		

D'aquesta manera, el seu principi de funcionament resideix en la reacció química d'oxidació-reducció.

Per tal d'escollir de forma encertada les bateries és necessari conèixer els diferents paràmetres que les descriuen. D'aquesta manera, s'exposa a continuació un conjunt de definicions que permetran interpretar les característiques tècniques de les bateries analitzades per al sistema de baix cost d'aquest projecte.

- **Estat de càrrega**

L'estat de càrrega (*State of Charge: SOC*) és la capacitat que pot aportar una bateria i es representa mitjançant un percentatge de càrrega completa. Cal dir que, degut als cicles de càrrega i descàrrega, la capacitat de les cel·les que formen la bateria va disminuint a mesura que passa el temps.

- **Profunditat de descàrrega**

S'anomena profunditat de descàrrega (*Depth of Discharge: DOD*) al valor, en tant per cent, de l'energia que s'ha extret de l'acumulador completament carregat en una descàrrega.

El DOD és el complement del SOC, és a dir, si s'obté un SOC del 70% vol dir que s'ha produït una DOD del 30 %.

- **Taxa de càrrega i descàrrega**

Les bateries solen utilitzar indicadors de càrrega i de descàrrega màximes referenciades a una unitat C, on C és 1/h.

D'una banda, el rati de càrrega d'una bateria és el temps que necessita aquesta per carregar-se si treballa a intensitat nominal. Normalment pren valors entre 1C i 5C. Així doncs, si la bateria es carrega completament en una hora la taxa de càrrega és d' 1C, mentre que si tarda mitja hora la taxa és de 2C. D'altra banda, el rati de descàrrega indica el temps que necessita la bateria per a descarregar-se a intensitat nominal.

 <div>UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH</div> <div>Escola Superior d'Enginyeries Industrial, Aeroespacial i Audiovisual de Terrassa</div>	Treball de Fi de Grau -Memòria-	Data 10/01/2019
		pàgina 20 de 88
ESTUDI I ANALISI D'UN SISTEMA DE BAIX COST AMB UN ARDUINO PER LA GESTIO DE L'ENERGIA SOBRANT D'UN SISTEMA FOTOVOLTAIC		

Taula 1. Taxa de càrrega (esquerra) i descàrrega (dreta) en funció de la bateria

mAh	0,1C	0,5C	1C	2C	3C	5C	mAh	10C	15C	20C	25C	30C	40C	50C	60C
5000	0,50A	2,50A	5,0A	10A	15A	25,0A	5000	50A	75A	100A	125A	150A	200A	250A	300A
2800	0,28A	1,40A	2,8A	5,6A	8,4A	14,0A	2800	28A	42A	56A	70A	84A	112A	140A	168A
2500	0,25A	1,25A	2,5A	5,0A	7,5A	12,5A	2500	25A	37,5A	50A	62,5A	75A	100A	125A	150A
2200	0,22A	1,10A	2,2A	4,4A	6,6A	11,0A	2200	22A	33A	44A	55A	66A	88A	110A	132A
2000	0,20A	1,00A	2,0A	4,0A	6,0A	10,0A	2000	20A	30A	40A	50A	60A	80A	100A	120A
1500	0,15A	0,75A	1,5A	3,0A	4,5A	7,5A	1500	15A	22,5A	30A	37,5A	45A	60A	75A	90A
1000	0,10A	0,50A	1,0A	2,0A	3,0A	5,0A	1000	10A	15A	20A	25A	30A	40A	50A	60A
500	0,05A	0,25A	0,5A	1,0A	1,5A	2,5A	500	5A	7,5A	10A	12,5A	15A	20A	25A	30A
250	0,025A	0,125A	0,25A	0,50A	0,75A	1,25A	250	2,5A	3,75A	5,0A	6,25A	7,5A	10A	12,5A	15A
200	0,020A	0,100A	0,20A	0,40A	0,60A	1,00A	200	2,0A	3,00A	4,0A	5,00A	6,0A	8,0A	10A	12A
150	0,015A	0,075A	0,15A	0,30A	0,45A	0,75A	150	1,5A	2,25A	3,0A	3,75A	4,5A	6,0A	7,5A	9,0A
100	0,010A	0,050A	0,10A	0,20A	0,30A	0,50A	100	1,0A	1,50A	2,0A	2,50A	3,0A	4,0A	5,0A	6,0A

Font: Apuntes de aeromodelismo

- Cicle de càrrega**

Un dels factors clau que determina la vida útil d'una bateria és el nombre de cicles de càrrega. Un cicle de càrrega es completa quan s'ha descarregat el 100% de la bateria, no necessàriament de forma continua des de la seva càrrega. Per exemple, si es disposa d'una bateria 100% carregada i es consumeix el 75% en un dia i es carrega la bateria altra vegada, si al dia següent es consumeix un 25%, s'haurà completat un cicle.

Aquest paràmetre afecta a la vida útil degut a l'anomenat efecte memòria. Aquest és un fenomen que redueix la capacitat de la bateria en funció de les càrregues incompletes que ha sofert.

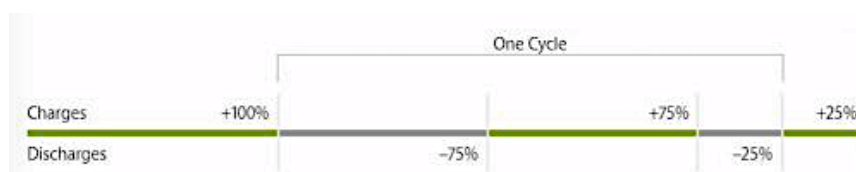


Figura 6. Cicle de càrrega d'una bateria

Font: Apple5x1,2017.

En relació a aquest projecte i dintre dels acumuladors solars, es poden trobar dos formats dominants: bateries monoblock i bateries estacionàries.

 <div>UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH</div> <div>Escola Superior d'Enginyeries Industrial, Aeroespacial i Audiovisual de Terrassa</div>	<div>Treball de Fi de Grau</div> <div>-Memòria-</div>	<div>Data</div> <div>10/01/2019</div>
		<div>pàgina</div> <div>21 de 88</div>
<div>ESTUDI I ANALISI D'UN SISTEMA DE BAIX COST AMB UN ARDUINO PER LA GESTIO DE L'ENERGIA SOBRANT D'UN SISTEMA FOTOVOLTAIC</div>		

Les bateries estacionàries són les més adequades per a instal·lacions que requereixen un consum diari durant llargs períodes de temps. Aquest fet resideix en la seva llarga vida útil (superior als 20 anys) i que permeten profunds cicles de descàrrega diaris.

D'altra banda, les bateries monoblock s'utilitzen per a petites instal·lacions on es requereix un equilibri qualitat-preu i amb requeriments energètics mínims.

Així doncs, donat el cas d'estudi aquesta última sembla ser la opció més encertada.

2.1.3 Inversor

Un inversor és aquell dispositiu que transforma una tensió d'entrada de corrent continua en un voltatge de sortida de corrent alterna amb la magnitud i freqüència desitjada pel dissenyador de la instal·lació.

Aquest element es fa necessari degut a que l'electricitat que generen els panells solars és en corrent continua (*Direct Current: DC*) i, l'electricitat que es consumeix als habitatges és de corrent alterna (*Alternating Current: AC*).

Tot i que tots els inversors porten a terme la mateixa tasca, es poden diferenciar dues tecnologies alternatives a utilitzar.

En primer lloc, un inversor centralitzat on cada panell es connecta en sèrie (amb la mateixa orientació i angle) i s'envia tota l'energia produïda a un sol aparell. Aquesta és la opció de menor cost i la de més fàcil manteniment però té un desavantatge important, els sistema només produirà tanta electricitat útil com el panell solar que menys produeixi.

En segon lloc, es pot instal·lar un petit inversor (micro-inversor) en cada panell solar. Els micro-inversors són més eficients que els esmentats anteriorment i permeten supervisar de manera més selectiva el rendiment dels panells.

2.1.4 Controlador

El controlador de càrrega, també anomenat regulador, és aquell aparell encarregat d'administrar el flux energètic que entra i surt de la bateria per tal d'evitar càrregues i descàrregues completes que la malmetrien.

 <div>UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH</div> <div>Escola Superior d'Enginyeries Industrial, Aeroespacial i Audiovisual de Terrassa</div>	Treball de Fi de Grau -Memòria-	Data 10/01/2019
		pàgina 22 de 88
ESTUDI I ANALISI D'UN SISTEMA DE BAIX COST AMB UN ARDUINO PER LA GESTIO DE L'ENERGIA SOBRANT D'UN SISTEMA FOTOVOLTAIC		

2.1.5 Càrregues

Els dispositius elèctrics que s'han d'alimentar conformen la càrrega de la instal·lació fotovoltaica. Com és evident, hi haurà aparells que consumiran més i d'altres que menys, produint-se així pics de corrents. Donat que el projecte es centra en una instal·lació connectada a la xarxa, aquests pics no suposaran cap impediment per al bon funcionament del sistema.

2.1.6 Diagrama de la instal·lació

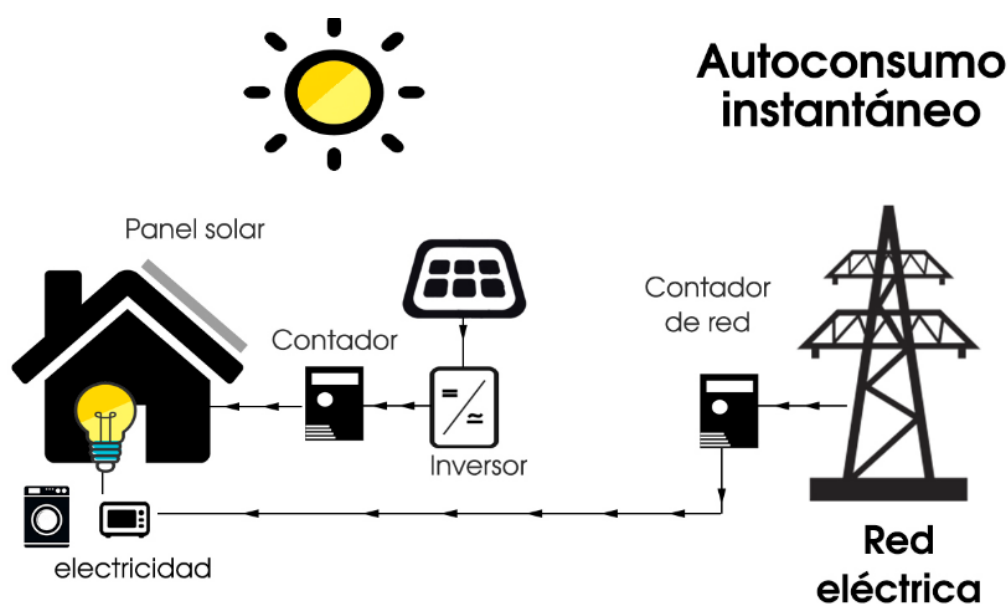


Figura 7. Funcionament sistema solar fotovoltaic connectat a la xarxa

Font: Energia solar Blog, 2017

En la *Figura 7* es pot observar el funcionament de forma esquemàtic d'un sistema fotovoltaic connectat a la xarxa. Com es pot veure, els panells estan connectats a un inversor que transforma l'energia DC a AC i envia l'energia a un mesurador bidireccional que distribueix l'energia que es consumirà a l'habitatge i l'excedent que es bolcarà a la xarxa pública.

Cal dir que per aquest projecte l'esquema varia una mica segons el següent diagrama de blocs on s'introdueix, just abans de l'alimentació d'un electrodomèstic de baixa potència i molt consum, un sistema format per un Arduino i una bateria de baixa capacitat per tal d'aprofitar l'excedent d'energia. A més a més, s'han de considerar els dos comptadors reglamentaris per

 <div>UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH</div> <div>Escola Superior d'Enginyeries Industrial, Aeroespacial i Audiovisual de Terrassa</div>	<div>Treball de Fi de Grau</div> <div>-Memòria-</div>	<div>Data</div> <div>10/01/2019</div>
		<div>pàgina</div> <div>23 de 88</div>
<div>ESTUDI I ANALISI D'UN SISTEMA DE BAIX COST AMB UN ARDUINO PER LA GESTIO DE L'ENERGIA SOBRANT D'UN SISTEMA FOTOVOLTAIC</div>		

normativa: una mesura l'energia consumida de la xarxa i l'altre l'energia que consumeix l'habitatge del sistema fotovoltaic.

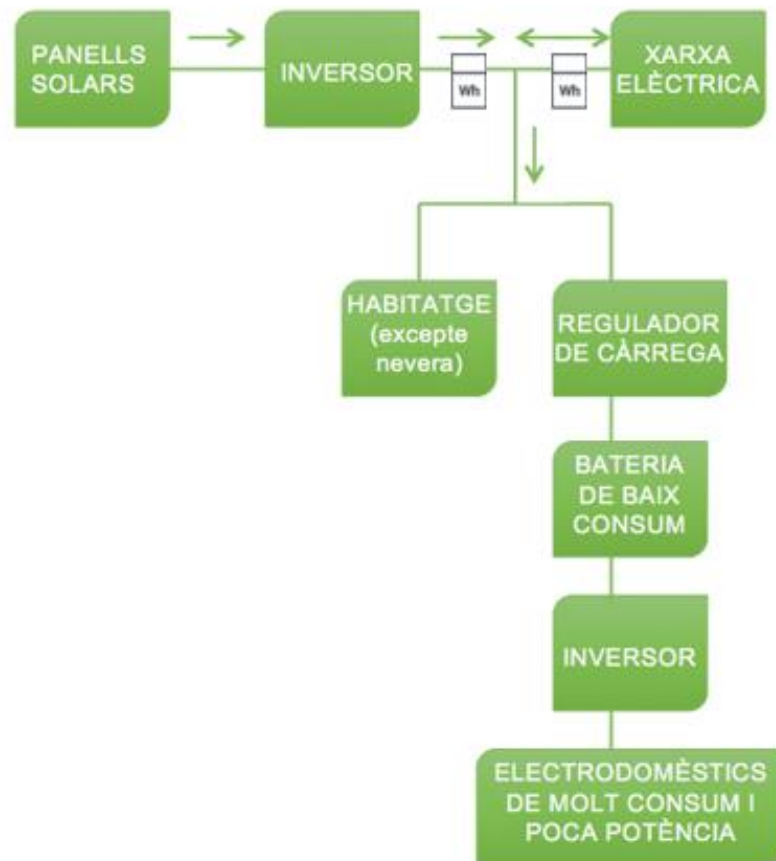


Diagrama 1. Diagrama de blocs del funcionament del sistema estudiat en el projecte

Font: Elaboració pròpia

 <div>UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH</div> <div>Escola Superior d'Enginyeries Industrial, Aeroespacial i Audiovisual de Terrassa</div>	<div>Treball de Fi de Grau</div> <div>-Memòria-</div>	<div>Data</div> <div>10/01/2019</div>
		<div>pàgina</div> <div>24 de 88</div>
<div>ESTUDI I ANALISI D'UN SISTEMA DE BAIX COST AMB UN ARDUINO PER LA GESTIO DE L'ENERGIA SOBRANT D'UN SISTEMA FOTOVOLTAIC</div>		

3. MARC LEGISLATIU SOBRE AUTOCONSUM ELÈCTRIC EN L'ÀMBIT ESPANYOL

Tot i que a nivell global l'energia solar fotovoltaica ha viscut en els últims anys una gran evolució tecnològica amb una important reducció dels seus costos (una caiguda del 80%, veure *Gràfic 4*) i un augment de la seva eficiència, no passa pel seu millor moment en l'actualitat d'Espanya.

Aquest fet és degut al gran nombre de requisits, incloent permisos governamentals i autoritzacions de les companyies elèctriques, per a poder transformar l'energia i accedir a la xarxa. Així doncs, aquestes traves frenen l'interès dels consumidors per apostar per aquest tipus d'energia.

Cal dir que Espanya i, en concret Andalusia, són les zones de major radiació solar de tota Europa fet que evidencia que l'autoconsum energètic seria una solució viable i òptima per a un gran nombre de famílies que podrien reduir així la seva factura d'electricitat i, a més a més, reduir també la contaminació ja que l'energia solar és completament neta.

Amb tot això, Espanya queda endarrerida front un creixement imparable a nivell mundial. Tal creixement està liderat per EEUU i Xina, superant en el país asiàtic els 100 GW de potència solar instal·lada en 2017 i els 53 GW pel que fa als nord-americans (La vanguardia, 2018).

A nivell europeu, Alemanya és líder amb 43 GW instal·lats i, comparativament, en un dels últims llocs es troba Espanya amb 5 GW de potencia solar instal·lada (La vanguardia, 2018).

 <div>UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH</div> <div>Escola Superior d'Enginyeries Industrial, Aeroespacial i Audiovisual de Terrassa</div>	Treball de Fi de Grau -Memòria-	Data 10/01/2019
		pàgina 25 de 88
ESTUDI I ANALISI D'UN SISTEMA DE BAIX COST AMB UN ARDUINO PER LA GESTIO DE L'ENERGIA SOBRANT D'UN SISTEMA FOTOVOLTAIC		

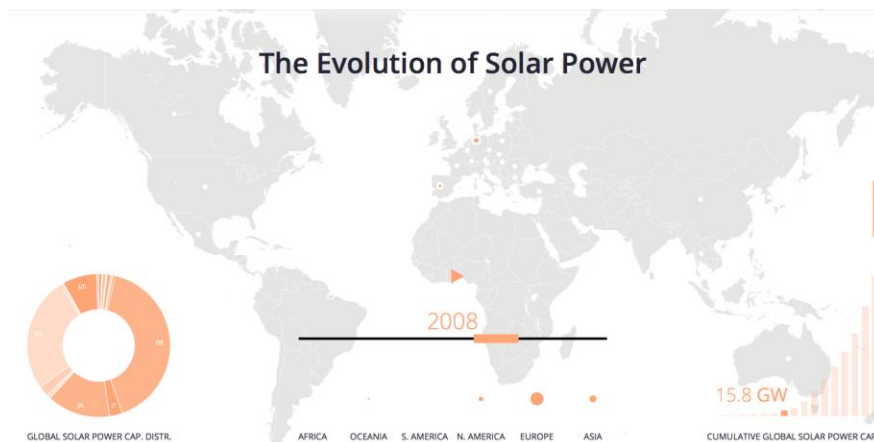


Figura 8. Potència solar instal·lada en el món en l'any 2008 (Espanya contava amb un 25'8%)

Font: Greenbyte

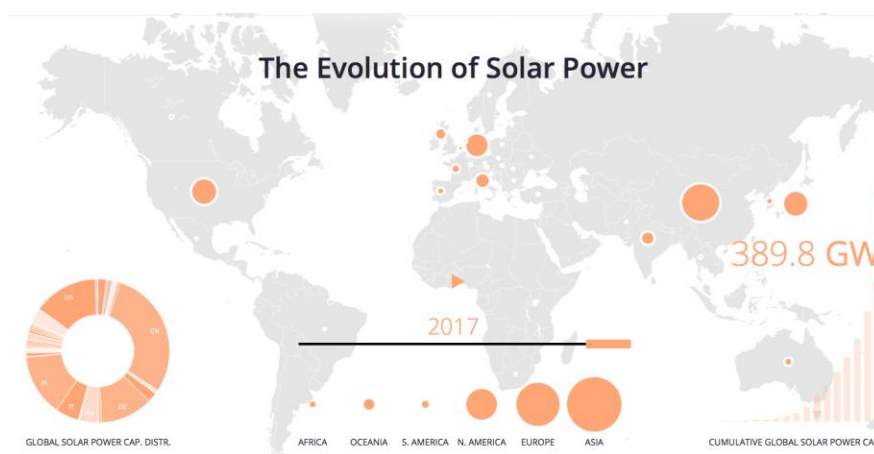


Figura 9. Potència solar instal·lada en el món en l'any 2017 (Espanya contava amb un 1'5%)

Font: Greenbyte

Com ja s'ha esmentat anteriorment, aquest decreixement a nivell espanyol front el creixement mundial que han sofert les renovables en general i, en aquest cas d'estudi, l'energia solar fotovoltaica, és degut a les diferents lleis i decrets que regulen l'autoconsum d'aquest tipus d'energia a Espanya.

 <div>UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH</div> <div>Escola Superior d'Enginyeries Industrial, Aeroespacial i Audiovisual de Terrassa</div>	<div>Treball de Fi de Grau</div> <div>-Memòria-</div>	<div>Data</div> <div>10/01/2019</div>
		<div>pàgina</div> <div>26 de 88</div>
<div>ESTUDI I ANALISI D'UN SISTEMA DE BAIX COST AMB UN ARDUINO PER LA GESTIO DE L'ENERGIA SOBRANT D'UN SISTEMA FOTOVOLTAIC</div>		

A més a més, el tenir recollida la normativa en un conjunt de lleis i decrets no fa res més que posar una altra dificultat a la comprensió del marc legal per aquelles persones i/o empreses que volen entrar al sector energètic solar.

3.1 ***Normativa vigent sobre un sistema d'autoconsum fotovoltaic***

La tecnologia fotovoltaica, així com qualsevol altra tecnologia de generació elèctrica, necessita una regulació que faciliti les condicions de finançament per a aquells que volen apostar per aquest tipus de tecnologia així com per atreure a futurs inversors.

Són uns quants els punts a considerar per al disseny i la instal·lació d'un sistema solar fotovoltaic a un habitatge i, evidentment, que sigui legal. D'aquesta manera, en aquest punt i en els posteriors es detallaran aquests punts així com un resum de lleis i decrets rellevants per aquest projecte.

En primer lloc, les instal·lacions elèctriques es classifiquen en instal·lacions de Tipus 1, amb una potència instal·lada inferior als 100 kW i, les de Tipus 2, amb una potència superior als 100 kW. A més a més, en les instal·lacions de Tipus 1 que compten amb una potència menor a 10 kW també se les diferencia de les altres. Donat que el cas d'estudi és centra en una llar unifamiliar, la normativa a considerar és aquella que fa referència a instal·lacions de Tipus 1 de menys de 10 kW.

Els requisits de la modalitat d'autoconsum de Tipus 1 són:

- La potència contractada pel consumidor no ha de ser superior als 100 kW.
- La potència de la instal·lació de generació ha de ser inferior a la potència contractada.
- El titular de consum i la producció ha de ser el mateix.
- La instal·lació ha de complir amb els requisits tècnics generals del RD 1699/2011 que regula les instal·lacions de baixa potència.
- S'ha de pagar un peatge per accedir a la xarxa elèctrica segons la potència instal·lada. Tal peatge no s'aplica a instal·lacions de menys de 10 kW.

 <div>UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH</div> <div>Escola Superior d'Enginyeries Industrial, Aeroespacial i Audiovisual de Terrassa</div>	<div>Treball de Fi de Grau</div> <div>-Memòria-</div>	<div>Data</div> <div>10/01/2019</div>
		<div>pàgina</div> <div>27 de 88</div>
<div>ESTUDI I ANALISI D'UN SISTEMA DE BAIX COST AMB UN ARDUINO PER LA GESTIO DE L'ENERGIA SOBRANT D'UN SISTEMA FOTOVOLTAIC</div>		

- És obligatori disposar d'un equip de mesura que registri l'energia neta que genera la instal·lació fotovoltaica i un altre equip independent de l'anterior en el punt de frontera de la xarxa (veure *Figura 7*)

En el cas d'estudi, les característiques d'una instal·lació de menys de 10 kW de potència instal·lada són els següents:

- No han d'estar inscrites al Registre de Producció.
- No poden cobrar els excedents que aboquen a la xarxa.
- Es pot imposar la instal·lació d'aparells d'injecció zero. En el cas de comptar amb aquest tipus de dispositiu, els usuaris estan exclosos de pagar els estudis d'accés i de connexió a la xarxa.

Un cop dit això, els tràmits legals que ha de seguir una instal·lació de menys de 10 kW són els exposats a continuació:

- Sol·licitar punt de connexió a l'empresa distribuïdora i complimentar la documentació que facilitin.
- Sol·licitar llicència d'obres (si escau).
- Realitzar la instal·lació.
- Sol·licitar i firmar un contracte de condicions tècnic-econòmiques amb la distribuïdora.
- Registre en l'organisme competent en Seguretat Industrial.
- Verificació amb resultat positiu dels equips de mesura per part de la distribuïdora.
- Comunicació a la comercialitzadora per a que quedi reflectit en el contracte el subministra de l'autoconsum fotovoltaic.

En segon lloc, existeixen una sèrie de Reials Decrets en relació a aquest tema.

 <div>UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH</div> <div>Escola Superior d'Enginyeries Industrial, Aeroespacial i Audiovisual de Terrassa</div>	<div>Treball de Fi de Grau</div> <div>-Memòria-</div>	<div>Data</div> <div>10/01/2019</div>
		<div>pàgina</div> <div>28 de 88</div>
<div>ESTUDI I ANALISI D'UN SISTEMA DE BAIX COST AMB UN ARDUINO PER LA GESTIO DE L'ENERGIA SOBRIANT</div> <div>D'UN SISTEMA FOTOVOLTAIC</div>		

3.1.1 Reial Decret 661/2007

L'objectiu del RD 661/2007 és establir un règim jurídic i econòmic de l'activitat de producció de l'energia elèctrica en règim especial. Cal destacar l'article d'aquesta normativa que exposa el caràcter obligatori d'inscriure les instal·lacions d'autoconsum fotovoltaïques en el *Registro Administrativo de Instalaciones Productoras en Régimen Especial*, RAIPRE.

A més a més, estableix el dret a rebre una retribució econòmica per a la injecció a la xarxa de l'energia elèctrica i també defineix les possibles vies de venda de la producció elèctrica en Règim Especial.

Cal dir que, en relació a les retribucions econòmiques per injectar energia elèctrica a la xarxa, es va anular aquest dret amb el RD 900/2015. Tot i així, és evident que és legalment viable impulsar un sistema amb primes pels excedents d'energia auto-generada.

3.1.2 Reial Decret 1110/2007

Amb aquest decret s'aprova el Reglament Unificat de Punts de Mesura dels Sistema Elèctric. D'aquesta manera, aquest sistema de mesura constitueix un element bàsic i necessari per al funcionament d'un mercat obert i per efectuar la liquidació de l'energia.

A més a més, el sistema descrit en aquest reial decret obliga a totes les instal·lacions fotovoltaïques connectades a la xarxa a estar inscrites al Registre Administratiu d'Autoconsum d'Energia Elèctrica així com dona un període de dos mesos per a inscriure's a aquells usuaris d'autoconsum que no estiguessin al registre a l'entrada en vigor d'aquest reial decret. En cas de que passin aquests dos mesos i no s'hagi regularitzat la situació, es pot veure suspès el subministrament elèctric així com s'enfronten a una multa de fins a 30 milions d'euros.

Cal dir que el requisit d'aquesta inscripció no és obligatori per als usuaris aïllats.

3.1.3 Reial Decret 1699/2011

L'objectiu d'aquest reial decret és establir les condicions administratives, contractuals, econòmiques i tècniques per a la connexió a la xarxa d'aquelles instal·lacions de producció d'energia elèctrica de baixa potència.

 <div>UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH</div> <div>Escola Superior d'Enginyeries Industrial, Aeroespacial i Audiovisual de Terrassa</div>	<div>Treball de Fi de Grau</div> <div>-Memòria-</div>	<div>Data</div> <div>10/01/2019</div>
		<div>pàgina</div> <div>29 de 88</div>
<div>ESTUDI I ANALISI D'UN SISTEMA DE BAIX COST AMB UN ARDUINO PER LA GESTIO DE L'ENERGIA SOBRANT D'UN SISTEMA FOTOVOLTAIC</div>		

A més a més, les instal·lacions amb menys de 100kW queden excloses del Règim d'Autorització Administratiu i imposa revisions cada 3 anys i l'obligació d'aportar un informe realitzat per un tècnic titulat i de proporcionar-lo al titular i a l'administració.

Aquest decret neix per a promoure les instal·lacions de petita potència amb procediments d'autorització simplificats, agilitzant d'aquesta manera el procés.

3.1.4 Reial Decret 1/2012

Aquest reial decret suposa la suspensió de les retribucions econòmiques per a les instal·lacions de producció d'energia elèctrica a partir de fonts d'energia primària renovables. Aquest fet es justifica a partir de la crisi econòmica que vivia l'estat espanyol al 2010 així com el creixement de les instal·lacions a partir de fonts d'energia renovables que, en conjunt, provocava que el dèficit tarifari esdevingués en un mal desenvolupament del sector i que es produís una desacceleració en les polítiques que promovien la producció d'energia elèctrica a partir de fonts renovables.

Cal esmentar que tot i que el reial decret es refereix a un caràcter temporal de les mesures que exposa, no fixa quina en serà la duració. A més, el règim econòmic no es suspèn si no que es suprimeix.

3.1.5 Reial Decret 900/2015

El reial decret RD 900/2015 implica que la potència màxima d'una instal·lació d'autoconsum ha de ser la mateixa que la contractada a la xarxa, impossibilitant així deixar sols una connexió mínima per a casos d'emergència. Aquest fet suposa que només es pot estar connectat a la xarxa si es paga a l'empresa distribuïdora per a la potència que es disposa en règim d'autoconsum.

També coarceix al consumidor a instal·lar i pagar un comptador elèctric homologat per a la distribuïdora que doni lectura de l'energia que genera la instal·lació.

Per últim també prohibeix de forma explícita l'autoconsum compartit (comunitat de veïns o empreses d'una mateixa zona) i implica el pagament d'un peatge extra, anomenat "impost al sol", per als auto consumidors.

 <div>UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH</div> <div>Escola Superior d'Enginyeries Industrial, Aeroespacial i Audiovisual de Terrassa</div>	<div>Treball de Fi de Grau</div> <div>-Memòria-</div>	<div>Data</div> <div>10/01/2019</div>
		<div>pàgina</div> <div>30 de 88</div>
<div>ESTUDI I ANALISI D'UN SISTEMA DE BAIX COST AMB UN ARDUINO PER LA GESTIO DE L'ENERGIA SOBRANT D'UN SISTEMA FOTOVOLTAIC</div>		

Cal dir que l'impost anterior no s'aplica a les instal·lacions amb una potència menor als 10 kW.

3.1.6 Reial Decret-Llei 15/2018

Aquest Reial Decret simplifica la classificació de les instal·lacions d'autoconsum que feia la Llei 24/2013 del Sector Elèctric. D'aquesta manera, només es diferencien dos tipus d'instal·lació fotovoltaica:

- Instal·lacions sense excedent: es requerirà justificar la no-injecció de corrent sobrant a partir d'un equip d'injecció zero.
- Instal·lacions amb excedent: a part de l'usuari com a consumidor també apareixerà la figura de l'usuari com a productor. Aquest fet provocarà que es compliqui el procés de legalització però, a canvi, es valoritzarà el sobrant elèctric produït.

A més a més, aquest Reial Decret reconeix el dret de l'autoconsum compartit entre diversos consumidors. Un altre punt significatiu és l'eliminació de l'obligació dels equips de mesura per a la generació neta i per al consum net. Així com la derogació de la prohibició d'instal·lar més potència fotovoltaica que la potència contractada.

D'aquesta manera, s'obre una nova oportunitat per a l'instal·lador.

3.2 *Preu de l'electricitat i tendència del mercat*

Un factor important a considerar en aquest projecte és el preu de l'electricitat així com la seva evolució en el futur per tal de poder veure'n la rendibilitat. Així doncs, tenint en compte la liberalització del mercat elèctric espanyol en el 2009, hi ha dues opcions entre les quals el consumidor pot escollir: una tarifa amb una comercialitzadora de referència o una comercialitzadora de lliure mercat.

Considerant que en el mercat lliure cada comercialitzadora estableix el preu de la llum que creu convenient, trobant així tantes tarifes com comercialitzadores hi hagi, s'analitzaran les tarifes del mercat regulat, els preus del qual els fixa el Govern mitjançant la Red Elèctrica d'Espanya (REE).

 <div>UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH</div> <div>Escola Superior d'Enginyeries Industrial, Aeroespacial i Audiovisual de Terrassa</div>	<div>Treball de Fi de Grau</div> <div>-Memòria-</div>	<div>Data</div> <div>10/01/2019</div>
		<div>pàgina</div> <div>31 de 88</div>
<div>ESTUDI I ANALISI D'UN SISTEMA DE BAIX COST AMB UN ARDUINO PER LA GESTIO DE L'ENERGIA SOBRANT D'UN SISTEMA FOTOVOLTAIC</div>		

D'aquesta manera, les tarifes de llum del mercat regulat són el Preu Voluntari al Petit Consumidor (PVPC) i la Tarifa Fixa Anual. La principal diferència entre els dos és que en la Tarifa Fixa Anual el consumidor paga un preu fixe per al consum elèctric durant un any calculat en funció d'un consum anual aproximat (el cost total sol suposar un augment del 20% respecte al que es pagaria amb una tarifa estàndard) mentre que en el PVPC el preu de la llum varia horàriament i diàriament.

En referència al PVPC, segons el tipus de comptador elèctric es poden distingir dues modalitats: la tarifa de discriminació horària i el preu mitjà ponderat.

En la tarifa de discriminació horària, com el seu nom indica, el cost del kW es calcula per a cada dia i hora en funció del mercat diari d'energia i requereix d'un comptador digital.

D'altra banda, amb el preu mitjà ponderat les comercialitzadores facturen en base a una mitjana de preus que publiquen i que la REE va actualitzant.

En les següents taules es pot observar el preu del kilowatt hora segons la companyia (veure Taula 2. Preu del kWh de llum en 2018 *Taula 2*) i la potència contractada amb la tarifa PVPC (veure *Taula 3*).

 <div>UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH</div> <div>Escola Superior d'Enginyeries Industrial, Aeroespacial i Audiovisual de Terrassa</div>	Treball de Fi de Grau -Memòria-	Data 10/01/2019
		pàgina 32 de 88
ESTUDI I ANALISI D'UN SISTEMA DE BAIX COST AMB UN ARDUINO PER LA GESTIO DE L'ENERGIA SOBRIANT D'UN SISTEMA FOTOVOLTAIC		

Taula 2. Preu del kWh de llum en 2018

Precio del kWh de luz en 2018		
Compañía	Tarifa	Precio del kWh
	PVPC (mercado regulado)	0.13236 €/kWh
	One Luz	0.12556 €/kWh
	Plan Estable	0.13928 €/kWh
	Plan Hogar a Medida	0.12237 €/kWh
	Centinela	0.12377 €/kWh
	Fórmula Máximo Ahorro 24H	0.14860 €/kWh

Font: Tarifasgasluz, 2018.

Aquesta és la tarifa que ofereixen les cinc grans comercialitzadores a Espanya per a una potència inferior a 10 kW.

 <div>UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH</div> <div>Escola Superior d'Enginyeries Industrial, Aeroespacial i Audiovisual de Terrassa</div>	<div>Treball de Fi de Grau</div> <div>-Memòria-</div>	<div>Data</div> <div>10/01/2019</div>
		<div>pàgina</div> <div>33 de 88</div>
<div>ESTUDI I ANALISI D'UN SISTEMA DE BAIX COST AMB UN ARDUINO PER LA GESTIO DE L'ENERGIA SOBRANT D'UN SISTEMA FOTOVOLTAIC</div>		

Taula 3. Preu amb tarifa PVPC segons la potència contractada

Potencia eléctrica	Precio PVPC
3.45 kW	✓ Potencia: 145.049200€ /año ✓ Consumo: 0.13193€ /kWh
4.60 kW	✓ Potencia: 193.399000€ /año ✓ Consumo: 0.13193€ /kWh
5.75 kW	✓ Potencia: 241.748700€ /año ✓ Consumo: 0.13193€ /kWh
6.90 kW	✓ Potencia: 290.098500€ /año ✓ Consumo: 0.13193€ /kWh
8.05 kW	✓ Potencia: 338.448200€ /año ✓ Consumo: 0.13193€ /kWh
9.20 kW	✓ Potencia: 386.797900€ /año ✓ Consumo: 0.13193€ /kWh

Font: Tarifasgasluz, 2018.

Evidentment, un factor a considerar és l'evolució del preu de l'electricitat en el futur. Així doncs, s'ha optat per un increment mig del 1.40 % (considerant un 2.7% anual) (Llibre, 2018).

 <div>UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH</div> <div>Escola Superior d'Enginyeries Industrial, Aeroespacial i Audiovisual de Terrassa</div>	<div>Treball de Fi de Grau</div> <div>-Memòria-</div>	<div>Data</div> <div>10/01/2019</div>
		<div>pàgina</div> <div>34 de 88</div>
<div>ESTUDI I ANALISI D'UN SISTEMA DE BAIX COST AMB UN ARDUINO PER LA GESTIO DE L'ENERGIA SOBRANT</div> <div>D'UN SISTEMA FOTOVOLTAIC</div>		

3.3 Sistema de subministrament

El sistema de subministrament elèctric és el conjunt d'elements que comporten la generació, el transport i la distribució de l'energia així com els mecanismes de control, seguretat i protecció.

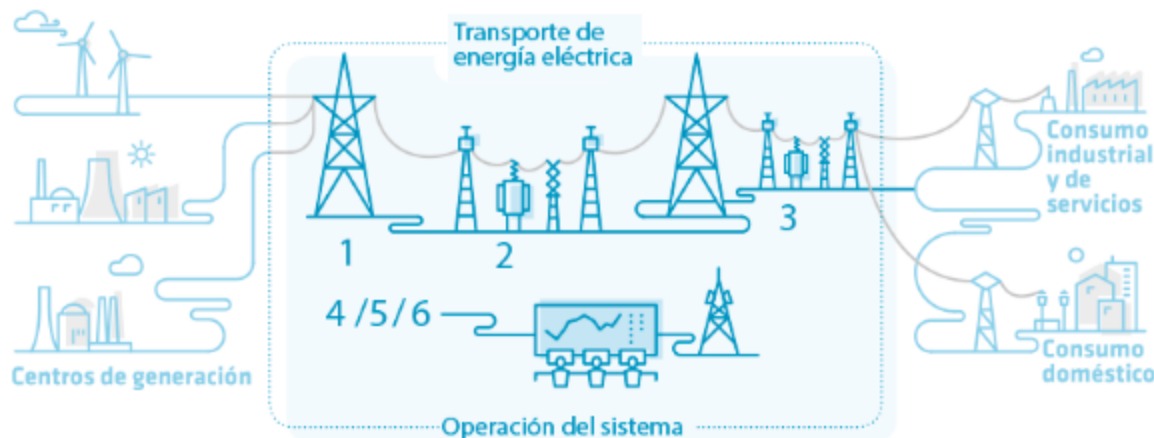


Figura 10. Esquema sistema de subministrament espanyol

Font: REE, 2018

Tot comença en les centrals que generen l'energia elèctrica a partir de la transformació de diverses matèries primes en electricitat. Seguidament, un cop s'ha generat l'energia, es transporta mitjançant línies d'alta tensió als nuclis de consum repartits per tot el país.

Aquesta xarxa de transport a Espanya la porta, en règim de monopoli, la Red Elèctrica Espanyola i, a més a més, és l'operador del sistema elèctric.

Un cop s'ha realitzat el transport a les subestacions de transformació les distribuïdores s'encarreguen de repartir l'electricitat a cada punt de subministra (llars, edificis, comerços...).

A Espanya hi ha cinc grans distribuïdores que operen segons diverses zones geogràfiques (veure Figura 11).

 <div>UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH</div> <div>Escola Superior d'Enginyeries Industrial, Aeroespacial i Audiovisual de Terrassa</div>	<div>Treball de Fi de Grau</div> <div>-Memòria-</div>	<div>Data</div> <div>10/01/2019</div>
		<div>pàgina</div> <div>35 de 88</div>
<div>ESTUDI I ANALISI D'UN SISTEMA DE BAIX COST AMB UN ARDUINO PER LA GESTIÓ DE L'ENERGIA SOBRIANT D'UN SISTEMA FOTOVOLTAIC</div>		



Figura 11. Zones d'actuació de les principals distribuïdores

Font: Enchufados

D'aquesta manera, les distribuïdores són les responsables de garantir el subministra, cobrir les averies i realitzar les lectures dels comptadors.

 <div>UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH</div> <div>Escola Superior d'Enginyeries Industrial, Aeroespacial i Audiovisual de Terrassa</div>	<div>Treball de Fi de Grau</div> <div>-Memòria-</div>	<div>Data</div> <div>10/01/2019</div>
		<div>pàgina</div> <div>36 de 88</div>
<div>ESTUDI I ANALISI D'UN SISTEMA DE BAIX COST AMB UN ARDUINO PER LA GESTIO DE L'ENERGIA SOBRANT D'UN SISTEMA FOTOVOLTAIC</div>		

4. MODEL D'OPTIMITZACIÓ PANELLS FOTOVOLTAICS

Per tal d'avaluar quin és l'òptim en quan al nombre de panells solars que ha de tenir la llar unifamiliar d'estudi per resultar un sistema rentable per a l'usuari s'ha decidit utilitzar un model matemàtic de programació lineal. Així doncs, es procedirà a la formulació matemàtica del problema i a la seva posterior resolució amb un software.

Els valors de radiació solar a considerar vindran donats per la ubicació de l'habitatge esmentat. Així doncs, la casa es troba a Begues, Barcelona (Latitud 41° , Longitud 2°); l'angle que forma la teulada amb l'horitzontal és de 31.6° i l'azimut és de $+24^\circ$ respecte del sud, en direcció oest.



Figura 12. Fotografia de la llar unifamiliar estudiada en el projecte

Font: Realitzada per el propietari

L'objectiu d'aquest model resideix en escollir quin disseny és el millor, essent quatre les opcions disponibles segons la potència: Model 1 (1 kW), Model 2 (1.5 kW), Model 3 (2.0 kW) i Model 4 (2.7 kW).

Cal dir que l'espai disponible per a les plaques és la zona inferior que consta d'un espai sense ombres de 2 metres d'alt per 9 metres d'amplada. En aquesta zona es poden arribar a col·locar un màxim de 9 plaques.

 <div>UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH</div> <div>Escola Superior d'Enginyeries Industrial, Aeroespacial i Audiovisual de Terrassa</div>	<div>Treball de Fi de Grau</div> <div>-Memòria-</div>	<div>Data</div> <div>10/01/2019</div>
		<div>pàgina</div> <div>37 de 88</div>
<div>ESTUDI I ANALISI D'UN SISTEMA DE BAIX COST AMB UN ARDUINO PER LA GESTIÓ DE L'ENERGIA SOBRIANT D'UN SISTEMA FOTOVOLTAIC</div>		

4.1 *Funció objectiu*

Per tal de decidir un disseny dels esmentats anteriorment s'ha decidit considerar quin és el que produeix el màxim estalvi en un període de 25 anys, donat que aquests són els anys de vida útil de la instal·lació. D'aquesta manera, la funció objectiu serà la de maximitzar aquest estalvi segons la següent expressió:

$$max = \{Estalvi = (CDsensePF - CDtotal) \cdot 25 \text{ anys} \cdot 365 \text{ dies}\}$$

Essent $CDsensePF$ el cost diari elèctric de la llar considerant que no disposa de panells fotovoltaics, és a dir, està només connectat a la xarxa; i essent $CDtotal$ la suma del cost dels disseny avaluat diàriament ($CDdiseny$) i el cost diari de l'energia considerant que la casa disposa de panells fotovoltaics ($CDambPF$).

Com és evident, aquests factors depenen d'altres paràmetres i variables que s'explicaran en els següents punts.

4.2 *Declaració de variables i paràmetres. Restriccions.*

- **$CDsensePF$ (cost diari sense panells fotovoltaics)**

Per tal de determinar quin és el cost diari de l'energia consumida per la llar sense tenir en consideració els panells fotovoltaics s'ha utilitzat la següent expressió:

$$CDsensePF = \left(\left(\frac{CostkWhcont \cdot PotC \cdot CInc}{365} \right) + \left(\sum_{i=0}^{23} CkWh[i] \cdot kWhC[i] \right) \cdot CInc \right) \cdot (1 + Ctaxes + Civa + Ctaxes \cdot Civa) + \left(\sum_{i=0}^{23} kWhC[i] \cdot CkWhT[i] \right) \cdot CInc$$

essent $CostkWhcont = 38,043426$ el cost de la potència contractada en €

$PotC = 4,60$ la potència contractada en kW

$CInc = 1,40$ l'increment mitjà del cost de l'energia en 25 anys en percentatge

$Ctaxes = 0,0511269$ les taxes relacionades amb l'energia en €

$Civa = 0,21$ l'impost sobre el valor afegit

i on i fa referència a cada hora del dia.

Els altres blocs que intervenen a l'equació són variables que depenen d'altres factors i la seva expressió s'explica en els següents punts.

- **CDtotal (cost diari total)**

Com ja s'ha dit anteriorment, el cost diari total ve donat per la suma del cost diari que suposa el disseny estudiat i el cost diari de l'energia amb la presència de panells fotovoltaics:

$$CD_{total} = CD_{diseny} + CD_{ambPF}$$

On $CD_{diseny} = \frac{Cost_{Diseny}}{25 \cdot 365}$ considerant els 25 anys.

Taula 4. Costos de la instal·lació fotovoltaica segons el nombre de panells

	Model 1	Model 2	Model 3	Model 4
Nº panells	3	5	7	9
Potència (kW)	1.0	1.5	2.0	2.7
CostDiseny (€)	4.387	5.129	5.871	6.613

Font: Elaboració pròpia

D'altra banda, el cost diari amb panells fotovoltaics és:

$$CD_{ambPF} = \left(\frac{(Cost_{kWhcont} \cdot PotC \cdot CInc)}{365} \right) + \left(\sum_{i=0}^{23} kWh_{Xarxa}[i] \cdot CkWh[i] \right) \cdot CInc$$

$$\cdot (1 + Ctaxes + Civa + Ctaxes \cdot Civa) + \left(\sum_{i=0}^{23} kWh_{Xarxa}[i] \cdot CkWhT[i] \right) \cdot CInc$$

on $kWh_{Xarxa}[i]$ és l'energia consumida de la xarxa ($kWh_{Xarxa} \geq 0$), $CkWh[i]$ és el cost de l'energia i $CkWhT[i]$ és el cost del transport (tots aquest factors, evidentment, depenen de l'hora del dia).

 <div>UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH</div> <div>Escola Superior d'Enginyeries Industrial, Aeroespacial i Audiovisual de Terrassa</div>	Treball de Fi de Grau -Memòria-	Data 10/01/2019
		pàgina 39 de 88
ESTUDI I ANALISI D'UN SISTEMA DE BAIX COST AMB UN ARDUINO PER LA GESTIO DE L'ENERGIA SOBRANT D'UN SISTEMA FOTOVOLTAIC		

Òbviament, la solució només pot ser un dels models. Per aquest fet, es defineix una variable binària x en el software de resolució per tal que la solució que aportí sigui única. Així doncs, en funció del disseny:

$$x(model1) + x(model2) + x(model3) + x(model4) = 1$$

- **$kWhC[i]$**

Aquesta variable representa l'energia consumida per la llar d'estudi i el seu valor prové del balanç energètic entre l'energia que es consumeix de la xarxa i la que es consumeix dels panells fotovoltaics.

$$kWhC[i] = kWhXarxa[i] + kWhpanells[i]$$

on $kWhpanells[i] \geq 0$.

4.3 Dades

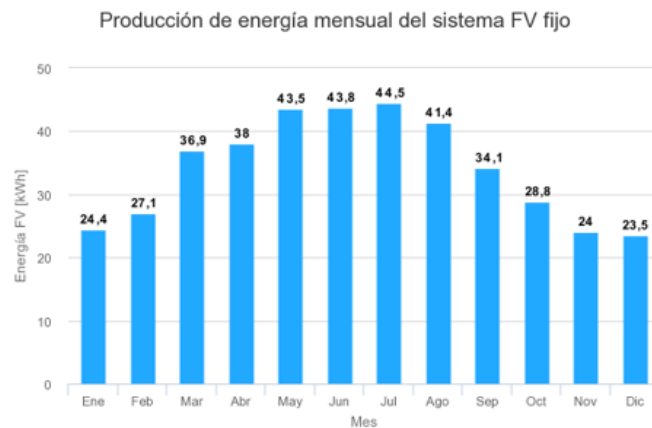
Com és obvi, per tal de solucionar el model d'optimització anterior és necessari aportar una sèrie de dades relacionades amb la producció dels panells, així com les del consum de la llar unifamiliar d'estudi.

D'aquesta manera, gràcies a la pàgina de la Comissió Europea *Photovoltaic Geographical Information System* s'han pogut extreure les dades referents a la radiació global hora a hora per a cada mes en la zona geogràfica on està situada la casa (veure *Annex II*).

A més a més, amb una versió més nova de la mateixa pàgina, s'ha pogut determinar l'energia mitjana mensual ($kWh \cdot mes$) que s'obté del sistema de panells fotovoltaics amb una placa de 250 W. Per fer-ho s'han suposat unes pèrdues de rendiment del sistema del 14 %. Aquestes pèrdues són per exemple les del cablejat, les degudes als inversors, presència de brutícia sobre els panells, etc.



ESTUDI I ANÀLISI D'UN SISTEMA DE BAIX COST AMB UN ARDUINO PER LA GESTIÓ DE L'ENERGIA SOBRIANT D'UN SISTEMA FOTOVOLTAIC



Gràfic 5. Producció energètica mensual del sistema fotovoltaic

Font: PVGIS, 2017

Evidentment, aquesta producció s'ha de multiplicar pel nombre de plaques instal·lades per a tenir l'energia total estimada mes a mes. A més a més, si es vol la producció diària estimada per placa s'ha de dividir pel nombre de dies del mes corresponent.

Taula 5. Producció diària estimada per placa mes a mes

	GEN.	FEB.	MAR.	ABR.	MAI.	JUN.	JUL.	AGO.	SEPT.	OCT.	NOV.	DEC.
Dies/mes	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
kWh-mes	24,4	27,1	36,9	38,0	43,5	43,8	44,5	41,4	34,1	28,8	24,0	23,5
kWh-dia	0,79	0,97	1,19	1,27	1,40	1,46	1,44	1,34	1,14	0,93	0,80	0,76

Font: Elaboració pròpia a partir del tractament de dades extretes de PVGIS, 2017

Així doncs, per tal d'obtenir la producció horària (en kWh) per a cada mes s'ha fet un repartiment proporcional de la producció diària amb la radiació considerada (veure Annex II).

 <div>UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH</div> <div>Escola Superior d'Enginyeries Industrial, Aeroespacial i Audiovisual de Terrassa</div>	Treball de Fi de Grau -Memòria-	Data 10/01/2019
		pàgina 41 de 88
ESTUDI I ANALISI D'UN SISTEMA DE BAIX COST AMB UN ARDUINO PER LA GESTIO DE L'ENERGIA SOBRIANT D'UN SISTEMA FOTOVOLTAIC		

Taula 6. Producció hora a hora d'un panell fotovoltaic de 250 W.

HORA	GEN.	FEB.	MAR.	ABR.	MAI.	JUN.	JUL.	AGO.	SEPT.	OCT.	NOV.	DEC.	Mitjana per placa
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,000
1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,000
2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,000
3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,000
4	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,000
5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,003
6	0,00	0,00	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,009
7	0,01	0,00	0,03	0,04	0,05	0,05	0,05	0,04	0,03	0,02	0,01	0,00	0,029
8	0,04	0,00	0,07	0,08	0,09	0,09	0,09	0,08	0,07	0,05	0,04	0,04	0,066
9	0,08	0,00	0,11	0,11	0,12	0,12	0,12	0,12	0,10	0,09	0,08	0,07	0,101
10	0,10	0,00	0,14	0,14	0,15	0,15	0,15	0,14	0,13	0,11	0,11	0,10	0,129
11	0,12	0,00	0,16	0,16	0,17	0,17	0,17	0,16	0,15	0,13	0,12	0,12	0,148
12	0,13	0,00	0,17	0,17	0,18	0,18	0,18	0,17	0,16	0,14	0,13	0,13	0,156
13	0,12	0,14	0,16	0,16	0,17	0,18	0,18	0,17	0,15	0,13	0,12	0,12	0,151
14	0,10	0,12	0,14	0,15	0,16	0,16	0,16	0,15	0,14	0,12	0,11	0,10	0,134
15	0,07	0,09	0,11	0,12	0,13	0,14	0,13	0,13	0,11	0,09	0,07	0,06	0,104
16	0,00	0,04	0,07	0,08	0,10	0,10	0,10	0,09	0,07	0,05	0,01	0,00	0,059
17	0,00	0,00	0,02	0,04	0,05	0,06	0,06	0,05	0,03	0,00	0,00	0,00	0,026
18	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,02	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,006
19	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,000
20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,000
21	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,000
22	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,000
23	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,000
kWh dia	0,8	0,9	1,2	1,3	1,4	1,5	1,4	1,3	1,1	0,9	0,8	0,8	1,122
9 plaques	7,1	8,7	10,7	11,4	12,6	13,1	12,9	12	10,2	8,4	7,2	6,8	10,098

Font: Elaboració pròpia a partir del tractament de dades extretes de PVGIS, 2017

4.4 Resolució

Per tal de solucionar el model i trobar l'òptim s'ha utilitzat l'AMPL (*A Mathematical Programming Language*). L'AMPL és un llenguatge algebraic per a expressar problemes d'optimització. Si es vol consultar el codi utilitzat veure *Annex III*.

Així doncs, un cop executat el codi amb AMPL el resultat obtingut és que la millor opció és el Model 2 amb 5 panells fotovoltaics, essent la segona millor opció el Model 4 amb 9 panells. En aquest cas, s'ha escollit la segona opció donat que així es cobreix tot l'espai disponible i, a més a més, s'espera un canvi legislatiu que ofereixi una amortització de la inversió a més curt termini.

Per tal de que quedi més clara la informació obtinguda s'ha elaborat la següent taula amb els resultats més significatius per ambdós dissenys:

Taula 7. Comparativa model 5 panells i model 9 panells

	Model 2 (5 panells)	Model 4 (9 panells)
Potència (kW)	1,5	2,5
Cost Disseny (€)	5.129	6.613
Producció (kWh-any)	2.275	4.095
Estalvi 25 anys (€)	3.793	3.046

Font: Elaboració pròpia a partir de les dades extretes de AMPL

4.5 Validació del model

Per tal de comprovar si el model utilitzat anteriorment és vàlid, s'ha decidit comparar els resultats amb les dades d'un estudi realitzat per ECOOO Revolución Solar S.L (veure *Annex IV*).

L'estalvi que aporta el model amb l'AMPL és de 3.793 € amb una producció anual d'energia neta de 2.275 kWh i, d'altra banda, l'estudi d'ECOOO per a un model amb 5 panells estima un estalvi de 4.175 € amb una producció anual d'energia neta de 2.222 kWh. Així doncs, l'error comés és d'aproximadament un 5,74 %.

A més a més, l'estudi d'ECOOO per a un model amb 9 panells estima un estalvi de 4.625 € amb una producció anual d'energia neta de 3.951 kWh i el model AMPL indica un estalvi de 3.046 € i una producció anual d'energia neta de 4.095 kWh. Així doncs, l'error comés és d'aproximadament 18,82 %.

 <div>UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH</div> <div>Escola Superior d'Enginyeries Industrial, Aeroespacial i Audiovisual de Terrassa</div>	<div>Treball de Fi de Grau</div> <div>-Memòria-</div>	<div>Data</div> <div>10/01/2019</div>
		<div>pàgina</div> <div>43 de 88</div>
<div>ESTUDI I ANALISI D'UN SISTEMA DE BAIX COST AMB UN ARDUINO PER LA GESTIÓ DE L'ENERGIA SOBRANT D'UN SISTEMA FOTOVOLTAIC</div>		

D'altra banda, també es disposa de les dades reals dels mesos juliol, agost i setembre on la producció d'energia neta anual ha estat de 4.421kWh mentre que amb el model s'ha obtingut 4.095 kWh, essent així l'error de 7,37 %.

D'aquesta manera, l'error mig comés és de 10,65 % i es considera que el model és vàlid.

 <div>UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH</div> <div>Escola Superior d'Enginyeries Industrial, Aeroespacial i Audiovisual de Terrassa</div>	<div>Treball de Fi de Grau</div> <div>-Memòria-</div>	<div>Data</div> <div>10/01/2019</div>
		<div>pàgina</div> <div>44 de 88</div>
<div>ESTUDI I ANALISI D'UN SISTEMA DE BAIX COST AMB UN ARDUINO PER LA GESTIO DE L'ENERGIA SOBRANT D'UN SISTEMA FOTOVOLTAIC</div>		

5. MODEL D'OPTIMITZACIÓ BATERIA

El següent punt a considerar és la selecció de la bateria mitjançant un model (veure *Annex V*) que estimi la millor opció tenint en compte el cost de la bateria i la seva durada en funció del nombre de cicles.

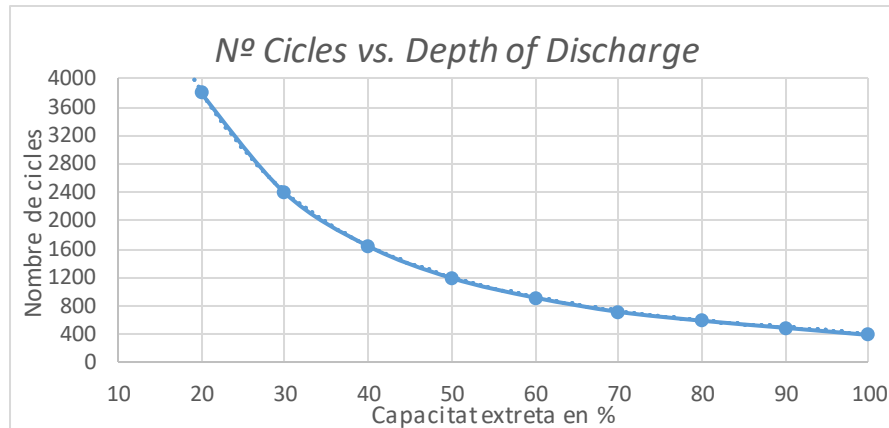
Cal dir que el model utilitzat no calcula l'estalvi econòmic o les pèrdues potencials, aquest càlcul es farà amb el model de simulació del següent apartat. A més a més, s'ha agafat com a referència l'alimentació d'un electrodomèstic que consumeix 70 Watts, és a dir, aproximadament 1,7 kWh diaris.

Considerant les hores més precàries (de 17:00h a 24:00h) on els panells deixen de produir sobrant energètic, és en aquest (hores pic), com a mínim, que la bateria ha de poder alimentar l'electrodomèstic.

Evidentment, s'ha d'assegurar que la bateria pugui abastir la potència mínima de 70 Watts, amb un marge de seguretat, i es fixarà la capacitat de la bateria a C10, suposant una descàrrega completa amb 10 hores. També s'ha de tenir en compte el DOD (*Depth of Discharge*) ja que si aquest és del 70 % només es podrà disposar del 70 % de l'energia acumulada en la bateria.

Donat que en aquest projecte s'ha optat per una bateria de gel de tipus VRLA (*Valve Regulated Lead Acid*), es disposa de la següent corba (veure *Gràfic 6*) que relaciona el DOD amb el nombre de cicles de la bateria.

Les bateries VRLA són un tipus de bateria d'àcid-plom regulades per vàlvula, segellades i no requereixen manteniment. A més a més, no necessiten ventilació i es poden muntar en qualsevol orientació (evidentment, exceptuant que les bornes estiguin cap avall).



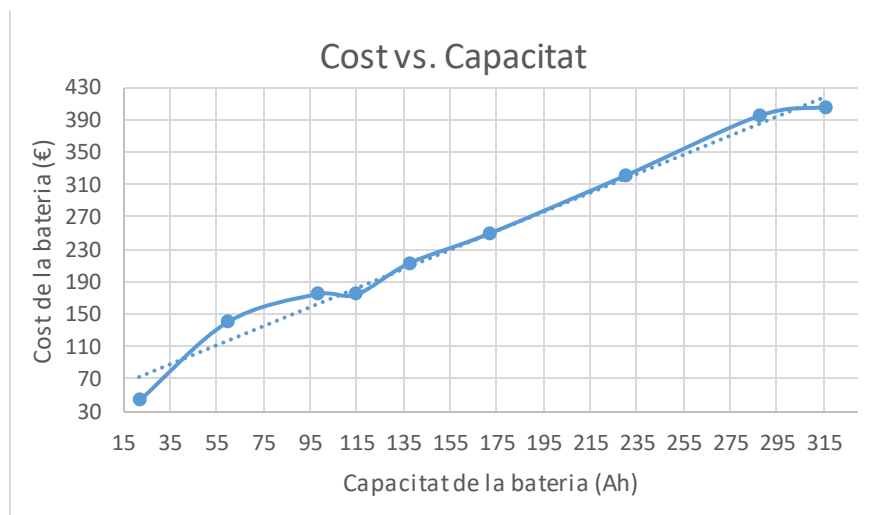
Gràfic 6. Corba de relació entre el DOD i el nombre de cicles

Font: Elaboració pròpia a partir de la fitxa tècnica de la bateria

I mitjançant una regressió polinòmica s'ha pogut aproximar la tendència de la corba a un polinomi de quint grau:

$$N^{\circ} \text{ Cicles} = -4 \cdot 10^{-6} \text{ DOD}^5 + 0,0013 \text{ DOD}^4 - 0,1914 \text{ DOD}^3 + 14,109 \text{ DOD}^2 - 560,12 \text{ DOD} + 10687$$

Un altre factor rellevant per a escollir la bateria és el seu cost. Així doncs, s'ha pogut elaborar una gràfica que relaciona el cost de la bateria amb la seva capacitat:



Gràfic 7. Relació entre el cost (€) i la capacitat (Ah) de la bateria

Font: Elaboració pròpia a partir de dades extretes de Autosolar.es

 <div>UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH</div> <div>Escola Superior d'Enginyeries Industrial, Aeroespacial i Audiovisual de Terrassa</div>	Treball de Fi de Grau -Memòria-	Data 10/01/2019
		pàgina 46 de 88
ESTUDI I ANALISI D'UN SISTEMA DE BAIX COST AMB UN ARDUINO PER LA GESTIO DE L'ENERGIA SOBRANT D'UN SISTEMA FOTOVOLTAIC		

I elaborant una regressió lineal s'ha aproximat a una recta: $\text{Cost} = 1,1792 \cdot \text{Capacitat} + 45,989$.

Finalment, introduint tot l'esmentat a un model amb AMPL s'han obtingut els següents resultats:

```

CapacitatBat = 1944.00 W
numCicles = 5531.97 cicles
DOD = 12.5514 %
CDBat = 0.04285 €
WhDia_Bat = 1700 Wh·dia
CostBateria = 237.02 €

```

Així doncs, l'elecció seria una bateria d'uns 162 Ah i es tindria que canviar cada 15 anys aproximadament considerant una profunditat de descàrrega del 12,55 %.

Tot i així, per a qüestions logístiques la bateria per aquest projecte s'havia adquirit abans de realitzar l'estudi i té una capacitat de 230 Ah 12V (veure fitxa tècnica en *Annex VI*)

D'altra banda, relacionat amb la potència que requereix l'electrodomèstic (en aquest cas de 70 Watts) s'ha escollit l'inversor i, donat que el preu (al ser molt reduït) no era un factor determinant, s'ha optat per l'inversor Spannungswandler que proporciona 1000 W de potència per si en algun moment es volgués provenir altres consums a la bateria (veure fitxa tècnica en *Annex VII*).

També s'ha escollit un carregador de bateria per tal de recuperar la bateria si es descarrega en excés i realitzar càrregues precises per tal d'allargar al màxim la vida útil de la bateria. A més, el fabricant de la bateria exposa que no s'han de superar els 25-30 A de càrrega. Amb tot això, s'ha optat per el carregador Blue Smart IP22 (veure fitxa tècnica en *Annex VIII*).

 <div>UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH</div> <div>Escola Superior d'Enginyeries Industrial, Aeroespacial i Audiovisual de Terrassa</div>	<div>Treball de Fi de Grau</div> <div>-Memòria-</div>	<div>Data</div> <div>10/01/2019</div>
		<div>pàgina</div> <div>47 de 88</div>
<div>ESTUDI I ANALISI D'UN SISTEMA DE BAIX COST AMB UN ARDUINO PER LA GESTIO DE L'ENERGIA SOBRANT D'UN SISTEMA FOTOVOLTAIC</div>		

6. SIMULACIÓ

Per tal de veure el comportament i rendiment del sistema de gestió energètica que es porta a terme al llarg d'aquest projecte s'ha considerat convenient realitzar una simulació amb el software Arena de la càrrega/descàrrega de la bateria considerant la producció dels panells fotovoltaics i el consum de la llar. Mitjançant el model de simulació s'han avaluat diferents estratègies de càrrega de la bateria amb l'objectiu de seleccionar l'algorisme candidat per la seva posterior implementació en el sistema real basat en l'Arduino.

Sabent que tant la producció com el consum depenen de la franja horària, evidentment la càrrega de la bateria també dependrà de la hora i del dia en que es trobi el sistema.

Cal dir que, en primera instància, el sistema funcionarà de tal manera que s'haurà d'observar l'estat de la bateria i , en cas de que no estigui al màxim aportar la càrrega que falti des de la xarxa. També s'haurà de carregar de la xarxa quan la descàrrega superi el 45 % ja que s'ha escollit aquest valor com el límit inicial a partir del qual la durabilitat de la bateria es veu considerablement afectada per els cicles de descàrrega.

En segon lloc s'avaluarà l'opció de que es carregui a partir de les 22:00 h, que comença l'horari vall, si resulta necessari per a que a les 4:00 h de la matinada la bateria estigui al seu màxim de càrrega (2.760 W) ja que així s'assegura el sistema de no carregar en horari pic i que arribi amb la càrrega mínima requerida a la primera hora on es produeix excedent energètic.

Finalment, donat que el DOD és un paràmetre directament lligat amb la durabilitat de la bateria i amb el rendiment del sistema s'han realitzat les simulacions per a diferents valors de profunditat de descàrrega per comprovar com es veu afectat aquest així com el DOD resultant del model d'optimització de la bateria.

Per tenir-ne una visió més clara, l'esquema del model de simulació és el següent:

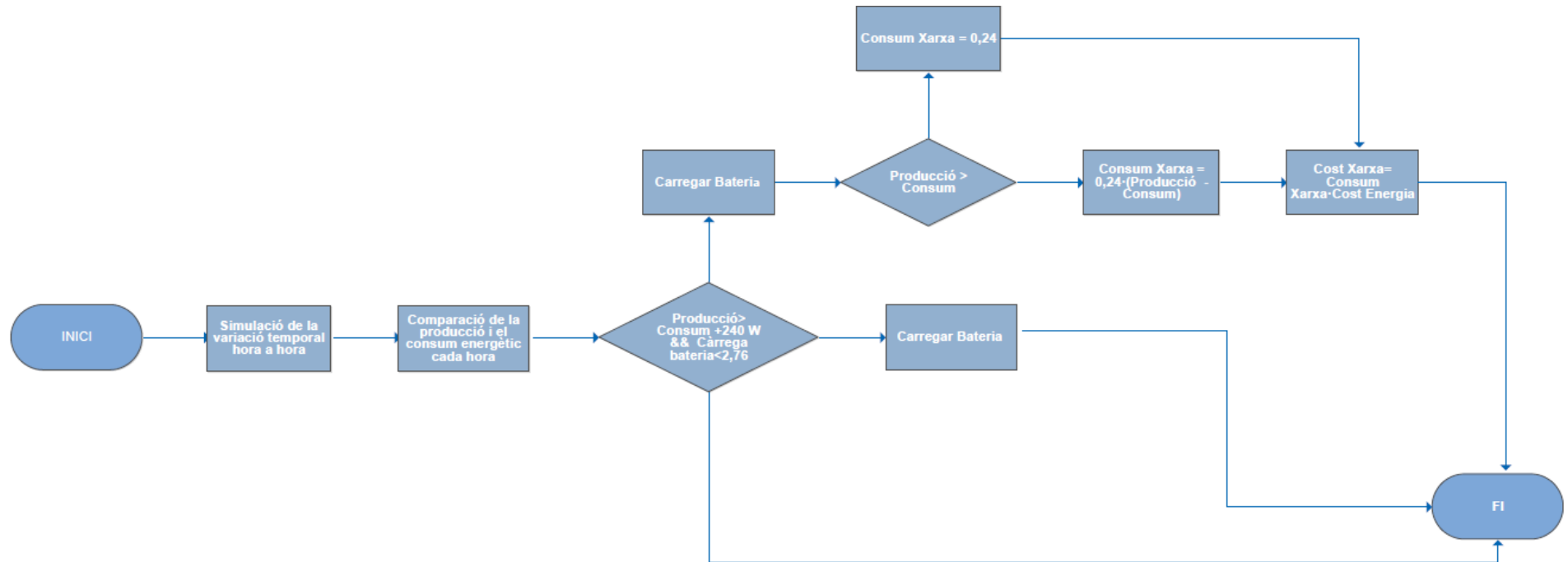


Diagrama 2. Algorisme de construcció del model base per a la simulació del sistema de gestió

 <div>UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH</div> <div>Escola Superior d'Enginyeries Industrial, Aeroespacial i Audiovisual de Terrassa</div>	<div>Treball de Fi de Grau</div> <div>-Memòria-</div>	<div>Data</div> <div>10/01/2019</div>
		<div>pàgina</div> <div>49 de 88</div>
<div>ESTUDI I ANALISI D'UN SISTEMA DE BAIX COST AMB UN ARDUINO PER LA GESTIÓ DE L'ENERGIA SOBRANT D'UN SISTEMA FOTOVOLTAIC</div>		

Tot i que anteriorment s'ha dit que el carregador òptim és de 12V i 30 A a la simulació s'ha considerat un carregador de 12 V i 20 A ja que és del que es disposa i d'aquesta manera es podrà comparar la simulació amb la realitat. Així doncs, la càrrega de la bateria serà de 240 W.

Un cop dit això, es pot procedir amb l'algorisme matemàtic. Considerant la variable $e_{bat}(i)$ com l'estat de càrrega de la bateria a l'hora i i coneixent que l'electrodomèstic que es vol alimentar consumeix uns 70 Wh:

$$e_{bat}(i) = e_{bat}(i - 1) - 70 + 240 f$$

On f és un flanc que pot prendre el valor de 0 ò 1 en funció de l'estat de la bateria $e_{bat}(i - 1)$ i del sobrant energètic $s(i)$. Aquest sobrant $s(i)$ dependrà de la producció (p) i el consum (c), com ja s'ha esmentat anteriorment:

$$s(i) = p(i) - c(i)$$

Així doncs, si $s(i) > 0,24$ i/o $e_{bat}(i) < 0,65 \cdot 2,76$ el flanc f passarà a valdre 1 i la bateria es carregarà. Encara que, si $s(i) < 0,24$ però $e_{bat}(i) < 0,65 \cdot 2,76$ el flanc també s'accionarà tenint en compte que l'energia que alimentarà la bateria serà la de la xarxa.

Un cop s'ha plantejat la base del que es vol simular, s'ha construït un primer model amb Arena (veure *Annex IX*) i, un cop recollits els resultats d'aquesta simulació, s'ha procedit a la segona simulació (veure *Annex X*) on s'ha considerat que la càrrega des de la xarxa només es produeix sempre i quan el sistema es trobi en una franja de l'horari vall, és a dir, entre les 22:00 h i les 3:00 h ($4 < i < 22$). Aquesta franja ha estat escollida considerant que de les 3:00 h a les 10:00 h, hora en que comença a produir-se un excedent, es consumeixen 350 W (5 hores per 70 Wh de consum) i que la bateria té una capacitat de 2.760 Watts, això implica un 13 % de descàrrega que és molt inferior al DOD inicial de referència (45 %).

Finalment, també s'han volgut avaluar les dues simulacions per a diferents valors de DOD ja que s'ha volgut demostrar com aquest factor afecta directament a la viabilitat econòmica d'aquest projecte. D'aquesta manera, es podrà comparar quina diferència hi ha entre aquestes dues opcions i escollir la que suposi un major estalvi per a l'usuari.

 <div>UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH</div> <div>Escola Superior d'Enginyeries Industrial, Aeroespacial i Audiovisual de Terrassa</div>	<div>Treball de Fi de Grau</div> <div>-Memòria-</div>	<div>Data</div> <div>10/01/2019</div>
		<div>pàgina</div> <div>50 de 88</div>
<div>ESTUDI I ANALISI D'UN SISTEMA DE BAIX COST AMB UN ARDUINO PER LA GESTIÓ DE L'ENERGIA SOBRANT D'UN SISTEMA FOTOVOLTAIC</div>		

6.1 Resultats simulació

6.1.1 Simulació 1

Un cop s'ha procedit a la simulació on la bateria es carrega sempre i quan hi hagi sobrant i/o es trobi en un estat de descàrrega del 45%, s'ha pogut extreure la següent taula de resultats:

Taula 8. Resum de resultats de la simulació amb Arena d'un dia tipus

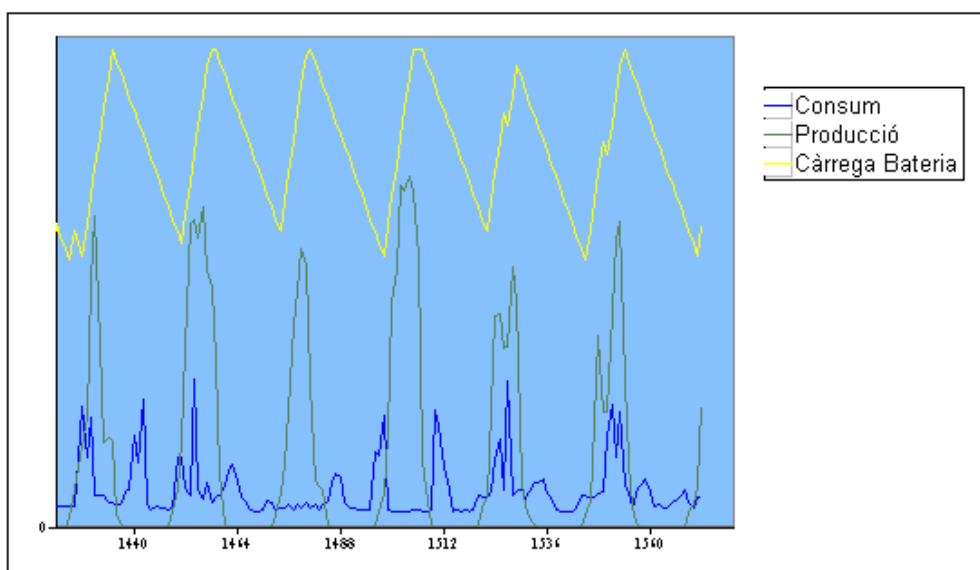
HORA	varCargaBateria kW·h	varConsumXarxa kW·h
1:00	2,32	0,01
2:00	2,25	0,00
3:00	2,18	0,01
4:00	2,12	0,01
5:00	2,05	0,00
6:00	1,99	0,01
7:00	1,94	0,02
8:00	1,87	0,00
9:00	1,80	0,00
10:00	1,75	0,02
11:00	1,85	0,00
12:00	1,99	0,00
13:00	2,12	0,00
14:00	2,26	0,00
15:00	2,39	0,00
16:00	2,51	0,00
17:00	2,61	0,01
18:00	2,62	0,00
19:00	2,60	0,00
20:00	2,54	0,01
21:00	2,47	0,00
22:00	2,40	0,00
23:00	2,61	0,01
24:00	2,33	0,01

Font: Elaboració pròpia a partir de les dades extretes de la simulació

On varCagaBateria és l'estat de la bateria a cada hora i la varConsumXarxa l'energia que es necessita absorbir de la xarxa.

Es pot veure en la taula, on s'ha fet la mitjana dels valors hora a hora de 72 dies simulats, corresponents al mes de juliol i agost, que la bateria es carrega des de la xarxa en algunes hores pic (a les 17 h i a les 20 h). Aquest fet s'evitarà en la segona simulació on només es produirà quan la bateria arribi al 45 % de descàrrega en horari pic i sigui estrictament necessari carregar per evitar que es faci malbé.

També s'han recollit les dades en forma de gràfic per a tenir una visió dels cicles de càrrega i descàrrega en relació amb el consum i la producció:



Gràfic 8. Resultats de la simulació 1 amb Arena

Font: Elaboració pròpia amb el software Arena

Com es pot observar en el gràfic anterior, la bateria es carrega de forma continua quan hi ha sobrant energètic a excepció d'alguns pics esporàdics on el consum ha estat superior a la producció o s'ha superat el 45 % de descàrrega i, per tant, s'ha tingut que agafar energia de la xarxa. A més a més, alguns dies l'excedent és superior a la capacitat de la bateria, per això es talla el pic.

Donat que l'estalvi és un factor d'elevada rellevància en aquest projecte es pot observar en la taula següent el cost de l'energia d'alimentar la bateria front el cost d'alimentar l'electrodomèstic de baixa potència (nevera, 70W) .

 <div>UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH</div> <div>Escola Superior d'Enginyeries Industrial, Aeroespacial i Audiovisual de Terrassa</div>	<div>Treball de Fi de Grau</div> <div>-Memòria-</div>	<div>Data</div> <div>10/01/2019</div>
		<div>pàgina</div> <div>52 de 88</div>
<div>ESTUDI I ANALISI D'UN SISTEMA DE BAIX COST AMB UN ARDUINO PER LA GESTIÓ DE L'ENERGIA SOBRANT D'UN SISTEMA FOTOVOLTAIC</div>		

Taula 9. Comparativa econòmica del cost energètic amb i sense sistema de gestió a partir de la simulació
1

HORA	Cost Energia (€)	Cost 70 W Sense SG (€)	Estalvi (€)
1:00	0,0009	0,0064	0,0055
2:00	0,0000	0,0064	0,0064
3:00	0,0009	0,0064	0,0055
4:00	0,0009	0,0064	0,0055
5:00	0,0000	0,0064	0,0064
6:00	0,0009	0,0064	0,0055
7:00	0,0018	0,0064	0,0046
8:00	0,0000	0,0064	0,0064
9:00	0,0000	0,0064	0,0064
10:00	0,0018	0,0064	0,0046
11:00	0,0000	0,0064	0,0064
12:00	0,0000	0,0133	0,0133
13:00	0,0000	0,0133	0,0133
14:00	0,0000	0,0133	0,0133
15:00	0,0000	0,0133	0,0133
16:00	0,0000	0,0133	0,0133
17:00	0,0019	0,0133	0,0114
18:00	0,0000	0,0133	0,0133
19:00	0,0000	0,0133	0,0133
20:00	0,0019	0,0133	0,0114
21:00	0,0000	0,0133	0,0133
22:00	0,0000	0,0133	0,0133
23:00	0,0009	0,0064	0,0055
24:00	0,0009	0,0064	0,0055
DIARI	0,01	0,23	0,22
ANUAL	4,75	84,10	79,35
25 ANYS	118,76	2102,47	1983,71

Font: Elaboració pròpia a partir de càlculs propis

També seria de rellevància comparar l'estalvi que suposa disposar del sistema de gestió amb el cost de la instal·lació a 25 anys considerant el canvi de bateries degut al fi de la seva vida útil segons el nombre de cicles òptim extrets en apartats anteriors. Així doncs, donat que la bateria s'hauria de canviar cada 38 mesos aproximadament, són 7 les bateries que s'hauran d'utilitzar en 25 anys, el que suposa un cost de 2.891 € aproximadament.

 <div>UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH</div> <div>Escola Superior d'Enginyeries Industrial, Aeroespacial i Audiovisual de Terrassa</div>	<div>Treball de Fi de Grau</div> <div>-Memòria-</div>	<div>Data</div> <div>10/01/2019</div>
		<div>pàgina</div> <div>53 de 88</div>
<div>ESTUDI I ANALISI D'UN SISTEMA DE BAIX COST AMB UN ARDUINO PER LA GESTIÓ DE L'ENERGIA SOBRANT D'UN SISTEMA FOTOVOLTAIC</div>		

Si es compara l'estalvi a 25 anys del cost de l'energia amb el cost d'anar reposant les bateries es produeix una pèrdua d'uns 900 euros, fet que evidentment, demostra que no és rentable.

Per aquest motiu i per l'explicat amb anterioritat, s'ha decidit repetir la simulació amb diversos valors del DOD inferiors al 45 % ja que, d'aquesta manera, augmenta considerablement el nombre de cicles de la bateria i, per tant, la seva vida útil, fet que pot ser determinant per a la viabilitat econòmica del projecte. Les dades s'han tractat amb Excel i es poden consultar en l'Annex XI. A partir d'aquestes dades s'ha pogut extreure la següent taula:

Taula 10. Estalvi econòmic en 25 anys segons el DOD de la bateria

DOD (%)	ESTALVI (€)
15	638,24
20	527,12
25	376,55
35	-147,78
45	-907,26

Font: Elaboració pròpia a partir de les dades extretes de la simulació

La taula anterior contempla l'estalvi econòmic d'energia de disposar del sistema d'estudi, així com el cost de les bateries que es requereixen en 25 anys segons el nombre de cicles de la bateria que, com es pot veure en el Gràfic 6, és funció de la profunditat de descàrrega (DOD).

Després d'haver realitzat aquesta primera simulació s'ha repetit actualitzant les dades de producció i consum, considerant així també els mesos de setembre, d'octubre i novembre. Els resultats obtinguts, fent la mitjana hora a hora de 145 dies, són els següents:

 <div>UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH</div> <div>Escola Superior d'Enginyeries Industrial, Aeroespacial i Audiovisual de Terrassa</div>	<div>Treball de Fi de Grau</div> <div>-Memòria-</div>	<div>Data</div> <div>10/01/2019</div>
		<div>pàgina</div> <div>54 de 88</div>
<div>ESTUDI I ANALISI D'UN SISTEMA DE BAIX COST AMB UN ARDUINO PER LA GESTIÓ DE L'ENERGIA SOBRIANT D'UN SISTEMA FOTOVOLTAIC</div>		

Taula 11. Resum de resultats de la simulació Arena d'un dia tipus amb les dades actualitzades

HORA	varCargaBateria kW·h	varConsumXarxa kW·h	Cost Energia (€)	Estalvi (€)
1:00	2,19	0,0009	0,0009	0,0055
2:00	2,13	0,0012	0,0012	0,0052
3:00	2,09	0,0024	0,0024	0,0041
4:00	2,03	0,0011	0,0011	0,0054
5:00	1,97	0,0012	0,0012	0,0052
6:00	1,93	0,0026	0,0026	0,0039
7:00	1,88	0,0016	0,0016	0,0048
8:00	1,82	0,0008	0,0008	0,0057
9:00	1,76	0,0012	0,0012	0,0052
10:00	1,73	0,0035	0,0035	0,0030
11:00	1,69	0,0022	0,0022	0,0042
12:00	1,76	0,0018	0,0018	0,0115
13:00	1,90	0,0031	0,0031	0,0102
14:00	2,03	0,0012	0,0012	0,0122
15:00	2,15	0,0003	0,0003	0,0130
16:00	2,28	0,0003	0,0003	0,0130
17:00	2,39	0,0019	0,0019	0,0115
18:00	2,45	0,0000	0,0000	0,0133
19:00	2,47	0,0016	0,0016	0,0118
20:00	2,47	0,0027	0,0027	0,0106
21:00	2,42	0,0013	0,0013	0,0121
22:00	2,35	0,0006	0,0006	0,0127
23:00	2,28	0,0003	0,0003	0,0061
24:00	2,23	0,0017	0,0017	0,0048
		DIARI	0,04	0,20
		ANUAL	12,92	71,18
		25 ANYS	323,05	1779,42

Font: Elaboració pròpia a partir de les dades extretes de la simulació

Com es pot observar, en el segon cas l'estalvi és menor el qual resulta obvi ja que a la primera part les dades eren massa optimistes, ja que només considerava els mesos de més sol. A la segona, amb les dades actualitzades, es pot tenir una visió més realista ja que els dies llargs dels mesos de juliol i agost es veuen compensats amb els mesos d'octubre i novembre.

De la mateixa manera s'ha considerat el cost de les bateries i el nombre de canvis que s'han de realitzar per a calcular l'estalvi real en 25 anys segons la profunditat de descàrrega a la que es fa treballar la bateria. Els resultats obtinguts són els següents:

Taula 12. Estalvi econòmic en 25 anys segons el DOD de la bateria considerant les dades actualitzades

DOD (%)	ESTALVI (€)
12,55	521,19
15	496,20
20	378,16
25	207,90
35	-341,06
45	-1359,03

Font: Elaboració pròpia a partir de les dades extretes de la simulació

6.1.2 Simulació 2

Avaluats els resultats de la simulació 1, es vol intentar millorar-los tenint en compte que la càrrega de la bateria només es porti a terme en horari vall tal com s'ha explicat (a les 4:00h bateria al màxim) i, per tant, l'estalvi sigui major. Cal dir que en aquest cas ja es treballarà directament amb les dades actualitzades (mesos de juliol, agost, setembre, octubre i novembre).

De la mateixa manera que en la simulació 1, s'han recollit les dades en forma de taula:

Taula 13. Resum de resultats de la simulació 2 amb Arena d'un dia típus

HORA	varCargaBateria kW·h	varConsumXarxa kW·h
1:00	2,72	0,10
2:00	2,74	0,09
3:00	2,67	0,00
4:00	2,60	0,00
5:00	2,53	0,00
6:00	2,46	0,00
7:00	2,39	0,00
8:00	2,32	0,00
9:00	2,25	0,00
10:00	2,18	0,00

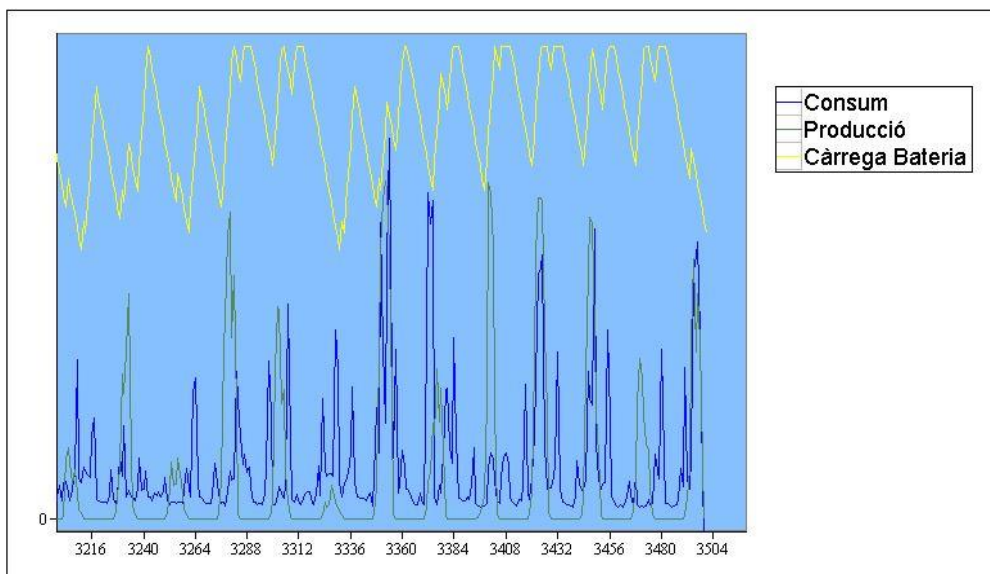


HORA	varCargaBateria kW·h	varConsumXarxa kW·h
11:00	2,11	0,00
12:00	2,17	0,00
13:00	2,29	0,00
14:00	2,40	0,00
15:00	2,51	0,00
16:00	2,56	0,00
17:00	2,58	0,00
18:00	2,59	0,00
19:00	2,57	0,00
20:00	2,56	0,01
21:00	2,51	0,00
22:00	2,60	0,17
23:00	2,64	0,11
24:00	2,67	0,10

Font: Elaboració pròpia a partir de les dades extretes de la simulació

Com es pot observar en la taula, totes les càrregues es porten a terme en horari vall excepte una a les 20 h que és deguda a una descàrrega superior a la profunditat de descàrrega.

També s'ha realitzat un gràfic on s'ha representat el cicle de càrrega/descàrrega de la bateria, així com la producció i el consum de la llar d'estudi.



Gràfic 9. Resultats de la simulació 2 amb Arena

Font: Elaboració pròpia amb el software Arena

Al gràfic es pot veure com, a diferència d'abans, són més les càrregues esporàdiques que s'han de realitzar. Aquest fet és degut a que les dades actualitzades incorporen dies de núvol on la producció no supera el consum i, per tant, la bateria es descarrega fins arribar al DOD del 45 % i, en aquest moment, s'alimenta de la xarxa.

Com ja s'ha esmentat en la simulació 1, un dels factors més importants al llarg del projecte és l'estalvi que pot suposar a l'usuari. D'aquesta manera, s'ha elaborat la següent taula comparativa entre el cost que suposa l'energia d'alimentar la nevera amb i sense sistema de gestió:

Taula 14. Comparativa econòmica del cost energètic amb i sense sistema de gestió a partir de la simulació 2

HORA	Cost Energia (€)	Cost 70 W Sense SG (€)	Estalvi (€)
1:00	0,0089	0,0064	-0,0025
2:00	0,0083	0,0064	-0,0019
3:00	0,0000	0,0064	0,0064
4:00	0,0000	0,0064	0,0064
5:00	0,0000	0,0064	0,0064
6:00	0,0000	0,0064	0,0064



ESTUDI I ANALISI D'UN SISTEMA DE BAIX COST AMB UN ARDUINO PER LA GESTIÓ DE L'ENERGIA SOBRANT D'UN SISTEMA FOTOVOLTAIC

HORA	Cost Energia (€)	Cost 70 W Sense SG (€)	Estalvi (€)
7:00	0,0000	0,0064	0,0064
8:00	0,0000	0,0064	0,0064
9:00	0,0000	0,0064	0,0064
10:00	0,0000	0,0064	0,0064
11:00	0,0000	0,0064	0,0064
12:00	0,0000	0,0133	0,0133
13:00	0,0000	0,0133	0,0133
14:00	0,0000	0,0133	0,0133
15:00	0,0000	0,0133	0,0133
16:00	0,0000	0,0133	0,0133
17:00	0,0006	0,0133	0,0127
18:00	0,0003	0,0133	0,0130
19:00	0,0003	0,0133	0,0130
20:00	0,0025	0,0133	0,0108
21:00	0,0003	0,0133	0,0130
22:00	0,0324	0,0133	-0,0191
23:00	0,0106	0,0064	-0,0041
24:00	0,0094	0,0064	-0,0030
DIARI	0,07	0,23	0,16
ANUAL	26,91	84,10	57,19
25 ANYS	672,67	2102,47	1429,81

Font: Elaboració pròpia a partir de les dades extretes de la simulació

I de la mateixa forma que en els dos casos anteriors s'ha decidit determinar l'estalvi real al cap de 25 anys tenint en compte els canvis de bateria deguts al avaluar diferents valors de profunditat de descàrrega:

Taula 15. Estalvi econòmic en 25 anys segons el DOD de la bateria (Simulació 2)

DOD (%)	ESTALVI (€)
12,55	370,75
15	329,26
20	224,11
25	22,03
35	-277,43
45	-1708,64

Font: Elaboració pròpia a partir de les dades extretes de la simulació

El tractament de les dades de la simulació 2 es pot consultar en l'Annex XII.

 <div>UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH</div> <div>Escola Superior d'Enginyeries Industrial, Aeroespacial i Audiovisual de Terrassa</div>	<div>Treball de Fi de Grau</div> <div>-Memòria-</div>	<div>Data</div> <div>10/01/2019</div>
		<div>pàgina</div> <div>59 de 88</div>
<div>ESTUDI I ANALISI D'UN SISTEMA DE BAIX COST AMB UN ARDUINO PER LA GESTIÓ DE L'ENERGIA SOBRANT D'UN SISTEMA FOTOVOLTAIC</div>		

6.1.3 Comparativa simulació 1 i simulació 2

Un cop s'han realitzat les simulacions amb les dues estratègies de càrrega escollides, s'han pogut comparar els resultats per tal de decidir quina s'implementarà a la realitat.

Contràriament al que es pensava inicialment, la millor gestió és la que proporciona la simulació 1. Aquest fet és degut a que, en la simulació 2, al forçar la càrrega en les hores vall, provoca que es produeixin càrregues en excés innecessàries ja que amb les hores de sol n'hi ha prou per alimentar l'electrodomèstic en les hores pic sense arribar al límit de profunditat de descàrrega.

A més a més, tot i que en la simulació 1 es produeixen més consums de la xarxa que en la simulació 2 sempre són consums menors ja que sempre hi ha prou energia acumulada en la bateria en les hores pic sense sol ja que s'acaba de carregar, fet que resulta en un major estalvi econòmic de l'energia que es consumeix.

També cal esmentar que comprovant diferents valors de DOD el major estalvi es produeix amb una profunditat de descàrrega (DOD) del 12,55 %, valor resultant del model d'optimització de la bateria i que a partir d'un DOD del 35 % es produeixen pèrdues econòmiques. És necessari comentar que en el model de la bateria no es considera l'estalvi econòmic de l'energia consumida en funció de la capacitat de la bateria i el DOD seleccionat. Així doncs, el model de simulació és molt més precís donat que contempla aquests factors.

 <div>UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH</div> <div>Escola Superior d'Enginyeries Industrial, Aeroespacial i Audiovisual de Terrassa</div>	<div>Treball de Fi de Grau</div> <div>-Memòria-</div>	<div>Data</div> <div>10/01/2019</div>
		<div>pàgina</div> <div>60 de 88</div>
<div>ESTUDI I ANALISI D'UN SISTEMA DE BAIX COST AMB UN ARDUINO PER LA GESTIÓ DE L'ENERGIA SOBRANT D'UN SISTEMA FOTOVOLTAIC</div>		

7. ELEMENTS DE CONTROL I GESTIÓ

Per a portar a terme el projecte, donat que es necessita un sistema que controli i gestioni el sobrant d'energia que alimentarà la bateria que esdevé l'alimentació de l'electrodomèstic, resulta necessari incorporar una unitat central de processament (CPU).

Una CPU és el hardware d'un dispositiu que interpreta les instruccions d'un programa informàtic a partir d'algunes operacions bàsiques aritmètiques, lògiques i d'entrada/sortida del sistema.

A diferència dels models anteriors, l'elecció de la CPU no es pren a partir de l'optimització de restriccions ja que cada tipus d'unitat de processament presenta unes característiques úniques que s'adapten a cada tipus de projecte. D'aquesta manera, considerant les característiques d'aquest projecte s'ha decidit optar per Arduino degut a la seva facilitat de programació ja que és una plataforma electrònica de codi obert.

Així doncs, d'entre els diferents tipus d'Arduino s'ha decidit utilitzar l'Arduino Mega 2560 (veure fitxa tècnica en *Annex XIII*) que es pot programar amb l'Arduino Software (IDE).

A més a més, per a portar el control del sobrant es requereixen dos sensors de corrent compatibles amb Arduino, un que mesuri l'energia que produeixen els panells fotovoltaics i l'altre que mesuri l'energia que prové de la xarxa. Donades les especificacions del projecte s'ha escollit el sensor SCT-013-030 (veure fitxa tècnica en *Annex XIV*) ja que un dels seus principals atractius es que és de caràcter no invasiu.

Aquest sensor funciona com un transformador de corrent on el debanat primari és el cable pel qual circula el corrent que es vol mesurar i el debanat secundari té 2.000 voltes. Així es produeix una transformació d'energia baixant els ampers que es volen mesurar a un amperatge apte per a mesurar-lo amb Arduino.

A més a més, la sortida d'aquest sensor és una senyal alterna que no es troba dins el rang d'entrades analògiques (0 a +5V) de l'Arduino. Per tant, serà necessari modificar la senyal per a que estigui en el rang esmentat. Això es pot fer amb un circuit offset en DC que suma 2,5 V a la senyal. El circuit offset en DC consisteix en col·locar un divisor de tensió i un condensador d'uns 10 μF .

 <div>UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH</div> <div>Escola Superior d'Enginyeries Industrial, Aeroespacial i Audiovisual de Terrassa</div>	<div>Treball de Fi de Grau</div> <div>-Memòria-</div>	<div>Data</div> <div>10/01/2019</div>
		<div>pàgina</div> <div>61 de 88</div>
<div>ESTUDI I ANALISI D'UN SISTEMA DE BAIX COST AMB UN ARDUINO PER LA GESTIÓ DE L'ENERGIA SOBRANT D'UN SISTEMA FOTOVOLTAIC</div>		

El valor de les resistències del divisor de tensió poden ser de 10 k Ω (si s'alimenta el sistema des de la xarxa) o de 470 k Ω si s'alimenta amb piles, per reduir-ne el consum).

El sistema també requereix de la presència d'un sensor de tensió per tal de mesurar l'estat de la bateria. L'escollit és un mòdul comercial que permet mesurar tensions de fins a 25 V (sensor FZ0430, veure fitxa tècnica en *Annex XV*). Cal dir que el FZ0430 és un simple divisor de tensió amb resistències de 30 k Ω i 7,5 k Ω , fet que suposa que la tensió percebuda per el mòdul estigui dividida per un factor de 5. El seu rang de detecció es troba entre els 0.02445 V i els 25 V en DC.

Per últim s'ha considerat convenient controlar la càrrega de la bateria amb un relé. Un relé és un dispositiu electromagnètic que permet a un processador com Arduino controlar càrregues a un nivell de tensió o intensitat superior a les que la seva electrònica pot suportar. Aquest dispositiu funciona com un interruptor controlat elèctricament en el que, estimulat per un corrent elèctric dèbil, obre o tanca un circuit en el qual es dissipa una potència major que en el circuit estimulador. D'aquesta manera, s'activa el relé (deixa passar corrent) quan el pin de control es troba a 5 V i, quan aquest passa a 0 V interromp el corrent. El model utilitzat és el SONGLE SRD-05VDC-SL-C (veure fitxa tècnica en *Annex XVI*).

A més a més, s'ha optat per incorporar una placa Wireless SD Shield que permet que la placa Arduino es comuniqui sense cablejat a més de incorporar una ranura per a targeta SD. En el cas d'estudi s'ha optat per a que vagi recollint la informació (corrent, voltatge i potència) a una targeta SD.

8. PROVES DEL SISTEMA A LABORATORI

Per tal de comprovar si tot l'esmentat té sentit a la realitat s'ha decidit realitzar una simulació construint una versió primitiva del que seria el sistema de gestió desitjat.

Aquesta primera versió del sistema constarà de la bateria, l'inversor, el carregador i l'Arduino amb el sensor de voltatge i el relé. A més, donat que no es compta de l'electrodomèstic al laboratori el seu funcionament es simularà amb una bombeta. El muntatge ve donat per el següent diagrama:



Diagrama 3. Esquema de muntatge del sistema primari per a simulacions

Font: Elaboració pròpia

Així doncs, l'Arduino llegirà les dades de producció i consum d'un arxiu tenint en compte el registre històric d'una setmana d'octubre, ja que és un mes neutral climatològicament parlant. D'aquesta manera, es pretén que l'Arduino llegeixi les dades de consum i producció i el voltatge en bornes de la bateria per saber-ne la profunditat de descàrrega i, seguint la política de descàrrega de la simulació 1, en funció d'aquest paràmetres s'activi el relé que accionarà el pas de corrent a la bateria. D'aquesta manera es podrà enregistrar l'estat de la bateria a cada hora durant aquesta setmana i veure el consum

elèctric que suposa per tal de validar tot el recollit mitjançant els models d'optimització i simulació al llarg d'aquest projecte. El muntatge a realitzar és el següent:

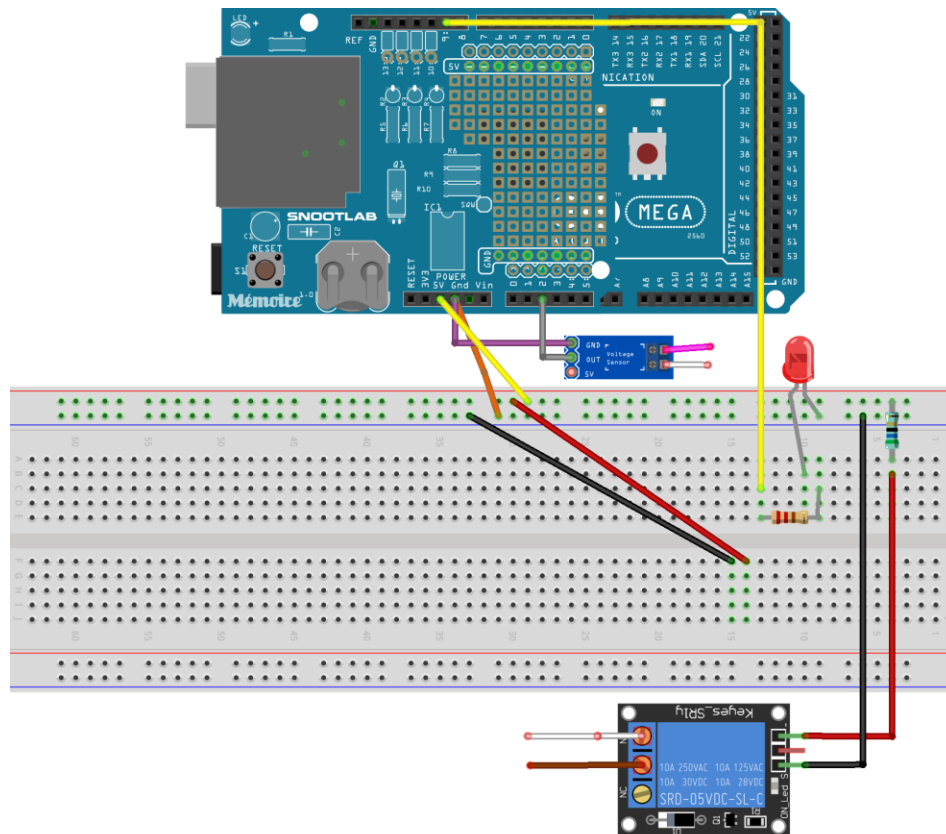


Figura 13. Esquema del muntatge per les proves

Font: Elaboració pròpia amb Fritzing

On el relé va connectat entre l'endoll i l'entrada del carregador i el sensor de voltatge va connectat a la bateria.

El codi utilitzat per a la programació d'aquestes proves és el següent:

```
//S'inclou la biblioteca SD per tal de poder llegir i escriure la
informació necessària
#include <SD.h>

File inFile;
File outFile;
```



```
//Variables que es requereixen
String dia;
String hora;
float prod;
float consum;
float voltatge;

//Definició de quin pin de l'Arduino correspon al sensor de voltatge i
al relé

int pinRele = 8;
int pinSensor = A2;
int sensorValue;

void setup() {

    //S'inicialitza la comunicació amb el port sèrie, els pins i la targeta
SD

    Serial.begin(9600);
    pinMode(pinSensor, INPUT);
    pinMode(pinRele, OUTPUT);
    Serial.println("S'estableix la comunicació");
    if (!SD.begin(4)) {
        Serial.println("Error en la comunicació");
        return;
    }
    //S'obren els fitxers tant de lectura com d'escriptura
    inFile = SD.open("lectura.txt");
    outFile = SD.open("Resultats.txt", FILE_WRITE);

    Serial.println("Inicialització correcte");
    Serial.print("Llegint i processant les dades");

    //bucle que passa per cada línia de l'arxiu de lectura i s'escriu una
barra per separar dades si n'hi havia d'abans
    outFile.println("////////////////////////////////////////");
    while(inFile.available()){
```



```
Serial.println(".");

//Es llegeixen les variables
dia = inFile.readStringUntil('\t');
hora = inFile.readStringUntil('\t');
prod = inFile.readStringUntil('\t').toFloat();
consum = inFile.readStringUntil('\n').toFloat();

//Es llegeix el sensor de voltatge
sensorValue = analogRead(pinSensor); // realitzar la lectura
// canviar escala a 0.0 - 25.0 V
voltatge = fmap(sensorValue, 0, 1023, 0.0, 25.0);

//S'escriu a l'arxiu de resultats
outFile.print(dia + " " + hora + " " + voltatge + " ");

//Es comprova si s'ha d'activar el relé
if(prod + 0.24 > consum || voltatge < 10.5){
    outFile.println("ESTAT BATERIA: PER SOTA DEL DOD");
    digitalWrite(pinRele, HIGH);
} else{
    outFile.println("ESTAT BATERIA: PER SOBRE DEL DOD ");
    digitalWrite(pinRele, LOW);
}
delay(3600); //temps d'espera entre lectures en milisegons
}

//Es tanquen els arxius i missatge d'acabat
inFile.close();
outFile.close();
Serial.println("FI");
}

void loop(){}

float fmap(float x, float in_min, float in_max, float out_min, float
out_max)
{
```

 <div>UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH</div> <div>Escola Superior d'Enginyeries Industrial, Aeroespacial i Audiovisual de Terrassa</div>	<div>Treball de Fi de Grau</div> <div>-Memòria-</div>	<div>Data</div> <div>10/01/2019</div>
		<div>pàgina</div> <div>66 de 88</div>
<div>ESTUDI I ANALISI D'UN SISTEMA DE BAIX COST AMB UN ARDUINO PER LA GESTIÓ DE L'ENERGIA SOBRANT D'UN SISTEMA FOTOVOLTAIC</div>		

```

    return (x - in_min) * (out_max - out_min) / (in_max - in_min) +
    out_min;}

```

Cal dir que s'espera que el sistema es comporti d'acord amb la simulació 1 i, un cop comprovat el correcte funcionament i s'hagi revisat que la política de càrrega de la bateria funcioni de la forma desitjada, es podrà procedir al muntatge i a la programació del sistema final.

9. MUNTATGE I FUNCIONAMENT DEL SISTEMA

Amb tot l'explicat ja es pot portar a terme el muntatge del circuit elèctric de l'Arduino amb els sensors i el relé. Per tal de simplificar el muntatge del sistema i poder identificar errors més ràpidament, es recomana realitzar un procediment de superposició, és a dir, muntar i programar cada part per separat per tal de comprovar-ne el correcte funcionament i codi i, posteriorment, unir-ho tot en un sol muntatge i codi.

Resulta convenient començar realitzant una breu descripció dels ports que porta l'Arduino Mega 2560:



Figura 14. Placa Arduino Mega 2560

Font: Arduino Store

Així doncs, començant per dalt a l'esquerra:

- AREF: tensió de referència per a les entrades analògiques
- GND: pin de massa digital
- Pins 2 a 13 i 44 a 46: pins digitals amb sortida PWM
- Pins sèrie: Sèrie 0 [0 (RX) i 1(TX)], Sèrie 1 [19 (RX) i 18(TX)], Sèrie 2 [17 (RX) i 16(TX)] i Sèrie 3 [15 (RX) i 14(TX)]. S'utilitzen per a rebre (RX) i transmetre (TX) dades.
- SPI: 50(MISO), 51(MOSI), 52(SK) i 53 (SS). Suporten la comunicació SPI.
- Vin: pin d'alimentació quan s'utilitza una font d'alimentació externa.
- Pin 5V i 3,3 V: pin d'alimentació per altres components a aquestes tensions.

ESTUDI I ANÀLISI D'UN SISTEMA DE BAIX COST AMB UN ARDUINO PER LA GESTIÓ DE L'ENERGIA SOBRIANT D'UN SISTEMA FOTOVOLTAIC

- IOREF: referència de tensió amb la que opera el microcontrolador.
- Reset: s'utilitza normalment per afegir un botó de reinici als *shields*.
- Botó vermell: botó de reset.

Un cop explicat això, s'ha procedit a connectar els diferents sensors requerits en aquest projecte. En primer lloc, s'ha realitzat la connexió del sensor de corrent SCT-013-030 i l'offset en DC segons el següent esquema:

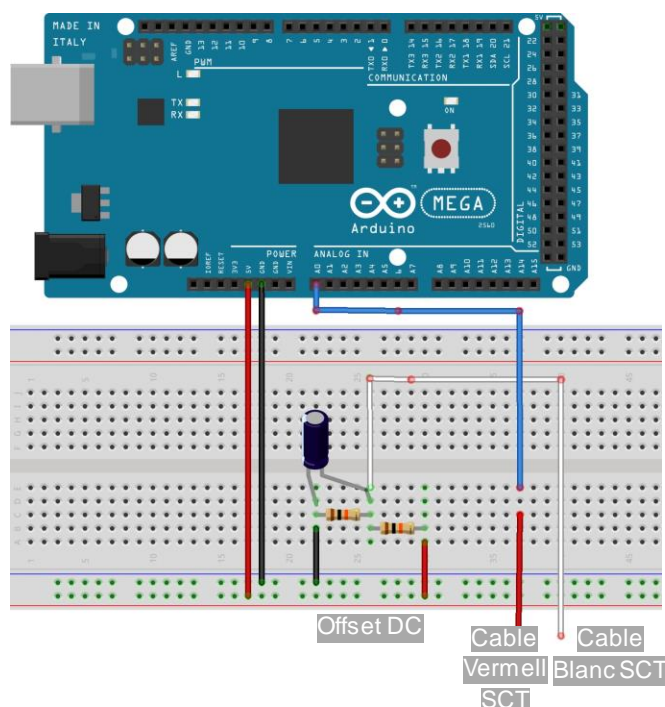


Figura 15. Esquema connexió SCT-013-030 i offset DC en Protoboard i Arduino

Font: Elaboració pròpia amb Fritzing

Després de la connexió s'ha procedit a la programació i comprovació de funcionament.

 <div>UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH</div> <div>Escola Superior d'Enginyeries Industrial, Aeroespacial i Audiovisual de Terrassa</div>	<div>Treball de Fi de Grau</div> <div>-Memòria-</div>	<div>Data</div> <div>10/01/2019</div>
		<div>pàgina</div> <div>69 de 88</div>
<div>ESTUDI I ANALISI D'UN SISTEMA DE BAIX COST AMB UN ARDUINO PER LA GESTIÓ DE L'ENERGIA SOBRANT D'UN SISTEMA FOTOVOLTAIC</div>		

En segon lloc s'ha connectat el sensor de tensió seguint aquest esquema:



Figura 16. Esquema connexió sensor FZ0430

Font: Luis Llamas, Decembre 2016

On A0 és el pin analògic d'Arduino i la càrrega, en el cas d'estudi, és la bateria.

En tercer lloc, s'ha connectat el relé de la següent manera:



Figura 17. Esquema connexió relé

Font: Luis Llamas, Juliol 2016.

On NO (Normalment obert), NC (normalment tancat) i C (Comú) són els tres contactes del bobinat secundari del relé. Aquest són els encarregats de obrir i tancar el circuit.

Cal dir que per controlar la càrrega a forma d'interruptor és necessari connectar un dels pols d'aquesta al terminal C. L'altre pol de la càrrega es connectarà a un dels terminals NO ò NC en funció de si s'ha d'obrir o tancar el circuit en activar el relé:

 <div>UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH</div> <div>Escola Superior d'Enginyeries Industrial, Aeroespacial i Audiovisual de Terrassa</div>	<div>Treball de Fi de Grau</div> <div>-Memòria-</div>	<div>Data</div> <div>10/01/2019</div>
		<div>pàgina</div> <div>70 de 88</div>
<div>ESTUDI I ANALISI D'UN SISTEMA DE BAIX COST AMB UN ARDUINO PER LA GESTIÓ DE L'ENERGIA SOBRANT D'UN SISTEMA FOTOVOLTAIC</div>		

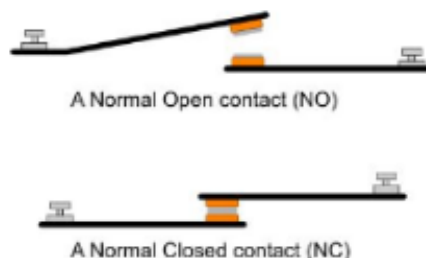


Figura 18. Com es troba el circuit quan el relé està apagat segons el terminal

Font: OpenLanuza,2018.

I, finalment, s'ha tingut que programar l'Arduino per a que emmagatzemi tota la informació a la targeta SD que es troba connectada a la placa Wireless SD Shield.

Un cop s'ha comprovat el funcionament de cada un dels elements per separat només cal adjuntar tots els codis en un de sol, afegint les restriccions del funcionament requerit, i pujar-los a Arduino.

El codi elaborat per al funcionament del sistema és el següent:

```
//S'inclou la biblioteca SD per tal de poder llegir i escriure la
informació necessària
#include <SD.h>

File outFile;

//Definició de variables
int dia = 0;
int hora = 0;
float produccio;
float consum;
float voltatge;
```



```
const float FACTOR = 30; //30A/1V
const float VMIN = 1.08; //Valor mínim degut a l'offset de DC
const float VMAX = 3.92; //Valor màxim degut a l'offset de DC
const float ADCV = 5.0; //Per Vcc

//Definició del pin corresponent a cada sensor
int pinSensorProduccio = 0;
int pinSensorConsum = 1;
int pinRele = 8;
int pinSensor = A2;
int sensorValue;

void setup()
{

//S'inicialitza la comunicació amb el port sèrie i els pins

    Serial.begin(9600);
    pinMode(pinSensor, INPUT);
    pinMode(pinRele, OUTPUT);

}

void loop()
{
    //Obrir arxiu per a escriptura
    outFile = SD.open("Resultats.txt", FILE_WRITE);

//Valor de producció i consum segons la funció getCorrent
    consum = getCorrent(pinSensorConsum);
    produccio = getCorrent(pinSensorProduccio);
    // realitzar la lectura de voltatge
```



```
    sensorValue = analogRead(pinSensor);  
    // canviar escala a 0.0 - 25.0 V  
    voltatge = fmap(sensorValue, 0, 1023, 0.0, 25.0);  
  
    Serial.print(dia);  
    Serial.print("  ");  
    Serial.print(hora);  
    Serial.print("  ");  
    Serial.print(consum);  
    Serial.print("  ");  
    Serial.print(produccio);  
    Serial.print(voltatge);  
  
    //Condicions per a que s'activi el relé  
    if(produccio + 0.24 > consum || voltatge < 10.5){  
        digitalWrite(pinRel.print("  "));  
        Serial.prie, HIGH);  
    } else{  
        digitalWrite(pinRele, LOW);  
    }  
    outFile.close();  
    //Incrementar hora a hora fins a 24 i canviar de dia  
    hora++;  
    if((hora % 24) == 0){  
        dia++;  
        hora = 0;  
    }  
    delay(3600);    //Temps en milisegons  
}  
  
//Funció getCorrent per les lectures dels sensors SCT-013-030  
float getCorrent( int pin)  
{
```

 <div>UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH</div> <div>Escola Superior d'Enginyeries Industrial, Aeroespacial i Audiovisual de Terrassa</div>	<div>Treball de Fi de Grau</div> <div>-Memòria-</div>	<div>Data</div> <div>10/01/2019</div>
		<div>pàgina</div> <div>73 de 88</div>
<div>ESTUDI I ANALISI D'UN SISTEMA DE BAIX COST AMB UN ARDUINO PER LA GESTIÓ DE L'ENERGIA SOBRANT D'UN SISTEMA FOTOVOLTAIC</div>		

```

float voltatge;
float corrent;
float sum = 0;
long temps = millis();
int counter = 0;

while (millis() - tiempo < 500)
{
  voltatge = analogRead(pin) * ADCV / 1023.0;
  corrent = fmap(voltage, VMIN, VMAX, -FACTOR, FACTOR);

  sum += sq(corriente);
  counter = counter + 1;
  delay(1);
}

corrent = sqrt(sum / counter);
return(corrent);
}

// Canvi d'escala entre floats
float fmap(float x, float in_min, float in_max, float out_min,
float out_max)
{
  return (x - in_min) * (out_max - out_min) / (in_max - in_min) +
out_min;
}

```

Cal dir que el codi s'ha elaborat a partir de la unió de codis previs trobats a diferents blogs de codi obert¹.

¹ Codis base trobats a: Luis Llamas, 2018. *Ingeniería, informática y diseño*. [En línea] [Consulta: 17 de Decembre de 2018] Disponible a: <https://www.luisllamas.es/>

 <div>UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH</div> <div>Escola Superior d'Enginyeries Industrial, Aeroespacial i Audiovisual de Terrassa</div>	<div>Treball de Fi de Grau</div> <div>-Memòria-</div>	<div>Data</div> <div>10/01/2019</div>
		<div>pàgina</div> <div>74 de 88</div>
<div>ESTUDI I ANALISI D'UN SISTEMA DE BAIX COST AMB UN ARDUINO PER LA GESTIÓ DE L'ENERGIA SOBRIANT D'UN SISTEMA FOTOVOLTAIC</div>		

Així doncs, el sistema funcionarà de tal manera que els dos sensors SCT-013-030 mesuraran el corrent que prové de la xarxa i el corrent que generen els panells fotovoltaics per tal de veure si es produeix sobrant (producció major que consum). En aquest cas, el relé s'activarà i, commutant la xarxa de 230 V i el carregador, conduirà aquest sobrant cap a la bateria i, en cas de que no hi hagi sobrant la bateria s'alimentarà de la xarxa.

La funció del sensor FZ0430 serà la de controlar que la bateria no es trobi en un estat de descàrrega inferior al 12,55 %. Per tal de determinar l'estat de la bateria, es mesurarà la tensió en bornes de la bateria. Aquesta tensió límit que indica l'estat de descàrrega s'ha agafat del gràfic *Discharge Characteristics* de la fitxa tècnica (veure *Annex VI*) i ha resultat ser d'uns 10,5 V i, a més a més, s'ha comprovat amb les dades de la simulació d'un dia tipus que el valor més baix de tensió registrat és de 10,9 V, deixant d'aquesta manera un coeficient de seguretat d'aproximadament el 3,6 %.

L'Arduino s'alimentarà a partir d'un carregador connectat a la xarxa. I, evidentment, la bateria anirà connectada a la nevera.

 <div>UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH</div> <div>Escola Superior d'Enginyeries Industrial, Aeroespacial i Audiovisual de Terrassa</div>	<div>Treball de Fi de Grau</div> <div>-Memòria-</div>	<div>Data</div> <div>10/01/2019</div>
		<div>pàgina</div> <div>75 de 88</div>
<div>ESTUDI I ANALISI D'UN SISTEMA DE BAIX COST AMB UN ARDUINO PER LA GESTIÓ DE L'ENERGIA SOBRANT D'UN SISTEMA FOTOVOLTAIC</div>		

10. RESUM DE RESULTATS

10.1 Resum del pressupost

El cost final del sistema de gestió i control energètic ascendeix a sis mil cinc-cents seixanta-tres amb vuitanta-sis euros.

Taula 16. Resum del pressupost

PARTIDES PRESSUPOST

1 TOTAL PARTIDA PLACA BASE I SISTEMA D'EMMAGATZEMATGE DE DADES	80,22 €
2 TOTAL PARTIDA SISTEMA D'ALIMENTACIÓ	698,42 €
3 TOTAL PARTIDA COMPONENTS	25,22 €
4 TOTAL PARTIDA COST D'ENGINYERIA	5.760,00 €
TOTAL PRESSUPOST	6.563,86 €

Font: Elaboració pròpia a partir del document pressupost

Cal dir que els costos associats a l'enginyeria són remarcablement elevats. Per aquest motiu, el cost del projecte es veu encarat i la viabilitat econòmica (que s'estudiarà posteriorment) disminueix representativament.

Evidentment, la quantitat d'hores que s'han destinat al projecte són excessives donat que es consideren aquelles hores destinades a l'elaboració dels documents propis del Treball de Fi de Grau, presentant així un sobre cost que no apareixeria en un entorn laboral.

A més a més, el projecte està pensat per a penjar-ho a la xarxa i que sigui de domini públic i, per tant, aquest cost d'enginyeria no es contempla. Així doncs, per tal de que l'escenari sigui més realista, l'estudi de viabilitat econòmica es farà ometent aquest cost.

 <div>UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH</div> <div>Escola Superior d'Enginyeries Industrial, Aeroespacial i Audiovisual de Terrassa</div>	<div>Treball de Fi de Grau</div> <div>-Memòria-</div>	<div>Data</div> <div>10/01/2019</div>
		<div>pàgina</div> <div>76 de 88</div>
<div>ESTUDI I ANALISI D'UN SISTEMA DE BAIX COST AMB UN ARDUINO PER LA GESTIÓ DE L'ENERGIA SOBRIANT D'UN SISTEMA FOTOVOLTAIC</div>		

10.2 Estudi de viabilitat econòmica

Un cop definit el pressupost del sistema de gestió es pot procedir a realitzar l'estudi de viabilitat econòmica de la instal·lació.

Aquest estudi s'ha portat a terme considerant els costos del projecte i l'estalvi econòmic que suposa la presència del sistema de gestió energètica per tal de poder establir una conclusió final objectiva de la factibilitat econòmica d'aquest.

Tal com s'ha exposat en l'apartat anterior, no es consideren en aquest estudi els costos relacionats amb l'enginyeria ni el cost de les hores de muntatge, resultant així els costos finals considerats en la taula següent:

Taula 17. Resum pressupost actualitzat per a la viabilitat econòmica

PARTIDES PRESSUPOST

1 TOTAL PARTIDA PLACA BASE I SISTEMA D'EMMAGATZEMATGE DE DADES	75,22 €
2 TOTAL PARTIDA SISTEMA D'ALIMENTACIÓ	688,42 €
3 TOTAL PARTIDA COMPONENTS	15,22 €
TOTAL PRESSUPOST	778,86 €

Font: Elaboració pròpia

També resulta imprescindible tenir en consideració que la bateria, com ja s'ha comentat, té un nombre de cicles específic i, per aquest fet, s'ha de canviar cada 15 anys, suposant una despesa de 248,73 € (valor extret de la Bateria Gel 12V 172 Ah d'Autosolar, donat que és la més pròxima que es fabrica considerant l'obtingut en el model d'optimització de la bateria).

No obstant, aquest cost de reposició de bateries es considerarà un guany negatiu i, per tant, no es té en consideració en la inversió inicial, essent aquesta última de **778,86** euros.

Un cop definida la inversió inicial cal determinar quin és l'estalvi mig anual i, d'aquesta manera, es pot saber el període de recuperació de la inversió (PRI). Aquest indicador permetrà saber en quan temps es recuperarà el total de la inversió:

 <div>UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH</div> <div>Escola Superior d'Enginyeries Industrial, Aeroespacial i Audiovisual de Terrassa</div>	<div>Treball de Fi de Grau</div> <div>-Memòria-</div>	<div>Data</div> <div>10/01/2019</div>
		<div>pàgina</div> <div>77 de 88</div>
<div>ESTUDI I ANÀLISI D'UN SISTEMA DE BAIX COST AMB UN ARDUINO PER LA GESTIÓ DE L'ENERGIA SOBRANT D'UN SISTEMA FOTOVOLTAIC</div>		

$$PRI = \frac{\text{Inversió total}}{\text{Estalvi promig anual}} = \frac{778,86}{20,85} \approx 37 \text{ anys}$$

Com es pot observar, el període de recuperació és molt llarg, fet que denota els primers indicis que el projecte no serà econòmicament viable.

Cal dir que, l'estalvi calculat en l'apartat de simulacions s'ha fet a grans trets. Per a ser més acurats en aquest estudi, s'ha decidit considerar l'evolució del preu de l'electricitat tingut en compte en el model d'optimització dels panells fotovoltaics, és a dir, un 1,4 % sobre el cost actual de l'energia (veure *Annex XVII*). Amb el tractament d'aquestes dades s'ha pogut extreure la següent taula resum:

Taula 18. Resum de resultats

Estalvi cost energia en 25 anys	1429,76 €
Cost Bateria en 25 anys	682,84 €
Estalvi real en 25 anys	746,91 €

Font: Elaboració pròpia

I, com es pot veure, l'estalvi real és superior al estimat anteriorment. Tot i així, el període de retorn de la inversió segueix essent massa alt (aproximadament 30 anys).

D'aquesta manera, considerant que l'estalvi total és de 746,91 € i que la inversió és de 778,86 €, el benefici en nombres absoluts resulta:

$$\text{Benefici} = \text{Estalvi} - \text{Cost} = 746,91 - 778,86 = -31,95 \text{ €}$$

Per últim, cal veure la rendibilitat que es treu de la inversió donat que el resultat anterior perd veracitat al tractar-se d'un període llarg (25 anys). Per aquest motiu s'ha decidit realitzar l'anàlisi amb el valor acumulat net (VAN) i la taxa interna de retorn de la inversió (TIR) (veure *Annex XVIII*). En aquest cas, el VAN resultant és de -624,46 €. i, igualant el VAN a zero s'ha obtingut la TIR:

$$VAN = \sum_{t=1}^n \frac{F_n}{(1+k)^n} - I_0 = 0$$

 <div>UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH</div> <div>Escola Superior d'Enginyeries Industrial, Aeroespacial i Audiovisual de Terrassa</div>	<div>Treball de Fi de Grau</div> <div>-Memòria-</div>	<div>Data</div> <div>10/01/2019</div>
		<div>pàgina</div> <div>78 de 88</div>
<div>ESTUDI I ANALISI D'UN SISTEMA DE BAIX COST AMB UN ARDUINO PER LA GESTIÓ DE L'ENERGIA SOBRANT D'UN SISTEMA FOTOVOLTAIC</div>		

On F_n és el flux econòmic en el període n , k és el tipus d'interès (en aquest cas s'ha optat per un rati de descompte del 7,46 % i I_0 és la inversió inicial. Així doncs, el TIR obtingut és del -12 %.

Com es pot veure, el que encareix notablement la inversió inicial és la partida del sistema d'alimentació, fet que evidencia que fins que no disminueixi el preu de les bateries en el mercat, el projecte no resultarà econòmicament viable.

10.3 Planificació

A nivell de planificació inicial es pot trobar en l'*Annex I* com s'ha vist alterada la previsió inicial recollida en el Plantejament del Projecte. Tot i aquestes modificacions, el projecte s'ha finalitzat dins del marc d'entrega establert.

Pel que fa a la planificació a nivell d'usuari, donat que aquest projecte està pensat per penjar-se en codi obert per tal de que qualsevol interessat s'en pugui beneficiar, resulta bastant obvi el procediment a seguir.

Així doncs, només caldrà que es compri el material necessari (explicat al llarg de la memòria i visible també en el document Pressupost) i, posteriorment, es descarregui el codi d'Arduino i es puji a la placa. Caldrà previament que s'elabori el muntatge electrònic explicat amb anterioritat en aquest document.

10.4 Conclusions i recomanacions de continuïtat

L'objectiu d'aquest projecte era l'estudi d'un sistema de gestió de l'energia sobrant en una instal·lació fotovoltaica, per tal d'afavorir al productor d'aquest tipus d'energia, donada la dificultat que presenta la legislació actual.

Cal dir que, a més a més, l'estudi ha permès realitzar una descripció del marc que engloba els sistemes fotovoltaics a Espanya i s'ha desenvolupat un model per establir el nombre òptim de panells a instal·lar a una llar unifamiliar situada a Begues i s'ha validat aquest model amb un estudi realitzat per ECOOO Revolución Solar . A més, s'ha elaborat un model amb AMPL per tal de seleccionar la bateria òptima, resultant aquesta d'una capacitat de 1944.00 W amb una profunditat de descàrrega del 12,55 %.

 <div>UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH</div> <div>Escola Superior d'Enginyeries Industrial, Aeroespacial i Audiovisual de Terrassa</div>	<div>Treball de Fi de Grau</div> <div>-Memòria-</div>	<div>Data</div> <div>10/01/2019</div>
		<div>pàgina</div> <div>79 de 88</div>
<div>ESTUDI I ANALISI D'UN SISTEMA DE BAIX COST AMB UN ARDUINO PER LA GESTIÓ DE L'ENERGIA SOBRIANT D'UN SISTEMA FOTOVOLTAIC</div>		

S'ha pogut observar al llarg de l'estudi que el marc legislatiu només posa través a les persones que opten per l'autoconsum, les quals es troben amb diverses traves administratives que incrementen la inversió que es requereix, se'ls prohibeix l'ús de bateries i es limita la potència a instal·lar.

Encara que, mentre s'estava realitzant aquest projecte s'ha aprovat el Reial Decret-Llei 15/2018 que representa una passa important per al punt de partida definitiu per a que l'autoconsum a Espanya sigui una realitat, suposant l'eliminació del "*impuesto al sol*" i el principi de l'autoconsum compartit en aquest país. Per tant, aquest nou Reial Decret-Llei redueix notablement la necessitat de ser d'aquest projecte.

Per tal de decidir la millor estratègia de càrrega de la bateria, s'han realitzat dues simulacions diferents per comprovar quina d'elles oferia un major estalvi a l'usuari, així com la comprovació de quin DOD resulta millor. S'ha observat que l'estratègia òptima de càrrega resulta de carregar la bateria sempre que hi hagi excedent o quan s'arriba al 12,55 % de descàrrega.

Així doncs, decidida l'estratègia, s'ha procedit a la realització d'un sistema primari per tal de dur a terme proves al laboratori i comprovar si la política de càrrega de la bateria és l'esperada.

Un cop fetes les proves, amb els paràmetres econòmics realitzats s'ha posat en manifest la no viabilitat del projecte ja que l'estalvi que suposa la presència del sistema creat no fa front a la inversió inicial que suposa. Aquest fet resideix en l'elevat cost de les bateries. En definitiva, el sistema de gestió no compleix amb la seva principal funció d'esdevenir en un estalvi econòmic per a l'usuari i, a conseqüència de la recent aprovació del Reial Decret-Llei 15/2018 perd el seu sentit.

Dit això, al no resultar un projecte viable seria una mica absurd realitzar recomanacions de continuïtat, tot i així, una de les possibles millores en seria implementar connexió a internet a l'Arduino per tal de visualitzar les dades des de sistemes electrònics (ordinadors, tabletas electròniques, telèfons...) sense la necessitat d'haver d'anar cada un cert temps a canviar la targeta SD. A més a més, es podria incorporar una pantalla LCD per monitoritzar les dades sense haver de connectar l'Arduino a l'ordinador.

 <div>UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH</div> <div>Escola Superior d'Enginyeries Industrial, Aeroespacial i Audiovisual de Terrassa</div>	<div>Treball de Fi de Grau</div> <div>-Memòria-</div>	<div>Data</div> <div>10/01/2019</div>
		<div>pàgina</div> <div>80 de 88</div>
<div>ESTUDI I ANALISI D'UN SISTEMA DE BAIX COST AMB UN ARDUINO PER LA GESTIÓ DE L'ENERGIA SOBRANT D'UN SISTEMA FOTOVOLTAIC</div>		

Finalment, al ser un projecte realitzat en un marc purament educatiu, tot i no assolir l'objectiu d'esdevenir un estalvi econòmic per a la persona que l'instal·la, si ha complert el seu objectiu acadèmic i ha suposat una gran ampliació de coneixements.

 <div>UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH</div> <div>Escola Superior d'Enginyeries Industrial, Aeroespacial i Audiovisual de Terrassa</div>	<div>Treball de Fi de Grau</div> <div>-Memòria-</div>	<div>Data</div> <div>10/01/2019</div>
		<div>pàgina</div> <div>81 de 88</div>
<div>ESTUDI I ANALISI D'UN SISTEMA DE BAIX COST AMB UN ARDUINO PER LA GESTIÓ DE L'ENERGIA SOBRANT D'UN SISTEMA FOTOVOLTAIC</div>		

11. BIBLIOGRAFIA

11.1 *Bibliografia consultada*

Boxwell, Michael. *Solar Electricity Handbook: 2017 Edition: A simple, practical guide to solar energy -designing and installing solar photovoltaic systems.* Londres:Greenstream Publishing, 2009. ISBN 978-1-907670-65-7.

Llibre, Daniel. 2018. *Estudi per a l'optimització energètica en habitatges unifamiliars no aïllats.* Treball de fi de màster, UPC, 2018.

11.2 *Documents electrònics*

SOLANELLAS, Marta Gangoells i SOLÉ, Karla Subirana. INTRODUCTION TO ENVIRONMENTAL ISSUES RELATED TO THE INDUSTRY. [en línia]. 2018, [Consulta 4 de Juliol de 2018]. Disponible a:

<[http://atenea.upc.edu/pluginfile.php/2306340/mod_resource/content/0/2_Introduction to environmental issues.pdf](http://atenea.upc.edu/pluginfile.php/2306340/mod_resource/content/0/2_Introduction_to_environmental_issues.pdf)>

Unef. *La Energía Solar Fotovoltaica en España* [en línia]. Última Edició: Juliol 2017. [Consulta: 04 de Juliol de 2018]. Disponible a:

<https://unef.es/wp-content/uploads/dlm_uploads/2017/10/unef-deloitte-analisis-economico.pdf>

ROCA, José A. Los costes de la fotovoltaica caen un 80% en los últimos cinco años. *El Periodico de la Energía*. El Periodico de la Energía con información diaria sobre energía eléctrica, eólica, renovable, petróleo y gas, mercados y legislación energética. [en línia]. 16 setembre 2014, [Consulta 10 de Juliol de 2018]. Disponible a:

<<https://elperiodicodelaenergia.com/los-costes-de-la-fotovoltaica-caen-un-80-en-los-ultimos-cinco-anos/>>

Bloomberg. 2018. Bloomberg. [En línia] 19 de juny de 2018. [Consulta: 15 de Juliol de 2018.] Disponible a: <<https://www.bloomberg.com/latam/blog/el-crecimiento-de-las->

 <div>UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH</div> <div>Escola Superior d'Enginyeries Industrial, Aeroespacial i Audiovisual de Terrassa</div>	<div>Treball de Fi de Grau</div> <div>-Memòria-</div>	<div>Data</div> <div>10/01/2019</div>
		<div>pàgina</div> <div>82 de 88</div>
<div>ESTUDI I ANALISI D'UN SISTEMA DE BAIX COST AMB UN ARDUINO PER LA GESTIÓ DE L'ENERGIA SOBRANT D'UN SISTEMA FOTOVOLTAIC</div>		

[baterias-permitira-que-para-2050-el-mundo-obtenga-la-mitad-de-la-electricidad-de-energia-eolica-y-solar/>](#)

El periódico de la energía. 2017. El periódico de la energía. [En línia] 3 de Novembre de 2017. [Consulta: 12 de Juliol de 2018.] Disponible a:

<<http://www.pcworldenespanol.com/2017/11/07/oxido-titanio-material-mejora-la-energia-las-celdas-solares/>>

Energías Renovables. 2014. Energías Renovables. [En línia] 25 de Novembre de 2014. [Consulta: 11 de Juliol de 2018.] Disponible a:

<<http://www.energiarenovablesinfo.com/solar/tipos-paneles-fotovoltaicos/>>

International Renewable Energy Agency, 2014. *Renewable Power Generation Costs in 2014* [en línia]. [Consulta: 14 de Juliol de 2018]. Disponible a:

<https://www.irena.org/DocumentDownloads/Publications/IRENA_RE_Power_Costs_2014_report.pdf>

Red eléctrica de España (REE), 2018. *El Sistema Eléctrico Español 2017* [en línia]. 2017. [Consulta: 10 de Juliol de 2018]. Disponible a:

<http://www.ree.es/sites/default/files/11_PUBLICACIONES/Documentos/InformesSistemaElectrico/2017/inf_sis_elec_ree_2017.pdf>

Departament tècnic de SunFields Europe. *Tipos de células fotovoltaicas y su estructura* [en línia]. [Consulta: 11 de Juliol de 2018]. Disponible a:

< <https://www.sfe-solar.com/noticias/articulos/celula-fotovoltaica-tipos-y-estructura/>>

La vanguardia, 2018. *La energía solar crece en todo el mundo, menos en España.* [En línia] 28 de Maig de 2018. [Consulta: 25 de Juliol de 2018.]

<<https://www.lavanguardia.com/natural/20180528/443823310640/ecogallego-energia-renovable-solar-crece-todo-el-mundo-menos-en-espana.html>>

 <div>UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH</div> <div>Escola Superior d'Enginyeries Industrial, Aeroespacial i Audiovisual de Terrassa</div>	<div>Treball de Fi de Grau</div> <div>-Memòria-</div>	<div>Data</div> <div>10/01/2019</div>
		<div>pàgina</div> <div>83 de 88</div>
<div>ESTUDI I ANALISI D'UN SISTEMA DE BAIX COST AMB UN ARDUINO PER LA GESTIÓ DE L'ENERGIA SOBRIANT D'UN SISTEMA FOTOVOLTAIC</div>		

CEPEDA,J.;SIERRA,A. *Aspectos que afectan la eficiencia en los paneles fotovoltaicos y sus potenciales soluciones.* Facultad de Ingeniería Mecánica, Universidad Santo Tomás, 2017. [Consulta: 26 de Juliol de 2018]. Disponible a:

<<https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/4196/cepedajuan2017.pdf?sequence=1>>

ECONOMIPEDIA. *Valor Actual Neto (VAN).* Economipedia. [Consulta: 20 de Decembre de 2018]. Disponible a: <<https://economipedia.com/definiciones/valor-actual-neto.html>>

FUNIBER,2017. *La importancia de calcular la tasa de descuento de un proyecto.* Funiblogs, áreas de conocimiento. [Consulta: 20 de Decembre de 2018]. Disponible a: <<https://blogs.funiber.org/blog-proyectos/2017/04/04/funiber-tasa-descuento-proyecto>>

11.3 Bibliografía de figures

Certificados Energeticos, 2015. *Energía solar y sus beneficios ¿Qué es el efecto fotovoltaico?.* [Figura 2]. A: *Todo sobre la certificación energética de edificios* [en línea]. [Consulta: 18 de Juliol de 2018]. Disponible a:

<<https://www.certificadosenergeticos.com/energia-solar-beneficios-que-efecto-fotovoltaico>>

Europe SunFields. *Estructura célula monocristalina.* [Figura 3]. A: *Tipos de Células Fotovoltaicas y su estructura.* [en línea]. [Consulta: 11 de Juliol de 2018]. Disponible a: <<https://www.sfe-solar.com/noticias/articulos/celula-fotovoltaica-tipos-y-estructura/>>

Europe SunFields. *Estructura célula policristalina.* [Figura 4]. A: *Tipos de Células Fotovoltaicas y su estructura.* [en línea]. [Consulta: 11 de Juliol de 2018]. Disponible a: <<https://www.sfe-solar.com/noticias/articulos/celula-fotovoltaica-tipos-y-estructura/>>

Tritec-intervento. *Tipos de paneles fotovoltaicos.*[Figura 5]. A: *Energía solar fotovoltaica* [en línea]. [Consulta: 15 de Juliol de 2018]. Disponible a: <<http://www.tritec-intervento.cl/productostritec/tipos-de-paneles-fotovoltaicos/>>

 <div>UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH</div> <div>Escola Superior d'Enginyeries Industrial, Aeroespacial i Audiovisual de Terrassa</div>	<div>Treball de Fi de Grau</div> <div>-Memòria-</div>	<div>Data</div> <div>10/01/2019</div>
		<div>pàgina</div> <div>84 de 88</div>
<div>ESTUDI I ANALISI D'UN SISTEMA DE BAIX COST AMB UN ARDUINO PER LA GESTIÓ DE L'ENERGIA SOBRIANT D'UN SISTEMA FOTOVOLTAIC</div>		

Apple5x1, 2017. *Esquema de un ciclo de carga* [Figura 6]. A: *Ciclos de carga, ¿qué son? ¿se pueden recuperar?* [en línia]. [Consulta: 21 de Juliol de 2018]. Disponible a: <<https://apple5x1.com/ciclos-de-carga/>>

Energia Solar Blog. *Autoconsumo instantáneo* [Figura 7]. A: *¿Es legal instalarse paneles solares en casa?* [en línia]. [Consulta: 24 de Juliol de 2018]. Disponible a: <<https://www.quetzalingenieria.es/blog/es-legal-instalarse-paneles-solares-en-casa-aclara-tus-preguntas/>>

Greenbyte, 2017. *The evolution of Solar Power 2008* [Figura 8]. A: *The Evolution of Solar power* [en línia]. [Consulta: 27 de Juliol de 2018]. Disponible a: <<https://www.greenbyte.com/resources/evolution-of-solar-power/>>

Greenbyte, 2017. *The evolution of Solar Power 2017* [Figura 9]. A: *The Evolution of Solar power* [en línia]. [Consulta: 27 de Juliol de 2018]. Disponible a: <<https://www.greenbyte.com/resources/evolution-of-solar-power/>>

Red Eléctrica de España (REE), 2018. *Negocio eléctrico en España* [Figura 10]. A: *Conócenos: Actividades de negocio* [en línia]. [Consulta: 27 de Juliol de 2018]. Disponible a: <<https://www.ree.es/es/conocenos/actividades-de-negocio/negocio-electrico-en-espana>>

Enchufados. *Distribuidoras de electricidad* [Figura 11]. A: *Conócenos: Distribuidoras de energía en España* [en línia]. [Consulta: 27 de Juliol de 2018]. Disponible a: <<https://www.enchufados.com/detalle/distribuidoras-de-energia-a-en-espa-a>>

Arduino Store. *Arduino Mega 2560* [Figura 13]. A: *Arduino Store* [en línia]. [Consulta: 24 de Novembre de 2018]. Disponible a: <<https://store.arduino.cc/arduino-mega-2560-rev3>>

 <div>UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH</div> <div>Escola Superior d'Enginyeries Industrial, Aeroespacial i Audiovisual de Terrassa</div>	<div>Treball de Fi de Grau</div> <div>-Memòria-</div>	<div>Data</div> <div>10/01/2019</div>
		<div>pàgina</div> <div>85 de 88</div>
<div>ESTUDI I ANALISI D'UN SISTEMA DE BAIX COST AMB UN ARDUINO PER LA GESTIÓ DE L'ENERGIA SOBRIANT D'UN SISTEMA FOTOVOLTAIC</div>		

11.4 Bibliografia de gràfics

Red Eléctrica de España, 2018. *Evolución de la generación renovable y no renovable peninsular (%)*. [Gràfic 1]. A: *Informe del Sistema Eléctrico Español 2017* [en línia]. [Consulta: 10 de Julio de 2018]. Disponible a: < <https://www.ree.es/es/estadisticas-del-sistema-electrico-espanol/informe-anual/informe-del-sistema-electrico-espanol-2017> >

Red Eléctrica de España, 2018. *Evolución de la producción de energía eléctrica renovable y no renovable peninsular (GWh)*. [Gràfic 2]. A: *Informe del Sistema Eléctrico Español 2017* [en línia]. [Consulta: 10 de Julio de 2018]. Disponible a: <<https://www.ree.es/es/estadisticas-del-sistema-electrico-espanol/informe-anual/informe-del-sistema-electrico-espanol-2017>>

Red Eléctrica de España, 2018. *Estructura de la generación anual de energía eléctrica renovable peninsular en 2017(%)*. [Gràfic 3]. A: *Informe del Sistema Eléctrico Español 2017* [en línia]. [Consulta: 10 de Julio de 2018]. Disponible a: <<https://www.ree.es/es/estadisticas-del-sistema-electrico-espanol/informe-anual/informe-del-sistema-electrico-espanol-2017>>

International Renewable Energy Agency, 2014. *Projected solar PV system deployment cost(2010-2020)*. [Gràfic 4]. A: *Renewable Power Generation Costs in 2014* [en línia]. [Consulta: 14 de Juliol de 2018]. Disponible a: <https://www.irena.org/DocumentDownloads/Publications/IRENA_RE_Power_Costs_2014_report.pdf>

Photovoltaic geographical Information System (PVGIS), 2017. *Producción de energía mensual del sistema FV fijo* [Gràfic 5]. A: *Rendimiento de un sistema FV conectado a red* [en línia]. [Consulta: 27 de Septiembre de 2018]. Disponible a: < http://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/es/tools.html#PVP >

 <div>UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH</div> <div>Escola Superior d'Enginyeries Industrial, Aeroespacial i Audiovisual de Terrassa</div>	<div>Treball de Fi de Grau</div> <div>-Memòria-</div>	<div>Data</div> <div>10/01/2019</div>
		<div>pàgina</div> <div>86 de 88</div>
<div>ESTUDI I ANALISI D'UN SISTEMA DE BAIX COST AMB UN ARDUINO PER LA GESTIÓ DE L'ENERGIA SOBRANT D'UN SISTEMA FOTOVOLTAIC</div>		

11.5 Bibliografia de taules

Apuntes de aeromodelismo. *Tasa de carga y descarga* [Taula 1]. A: *La unidad C en las baterías*. [en línea]. [Consulta: 17 de Juliol de 2018]. Disponible a: http://aeromodelismo.epiel.com/c_baterias.html>

Tarifasgasluz, 2018. *Precio del kWh de luz en 2018* [Taula 2]. A: *¿Cuánto cuesta el kWh en 2018?* [en línea]. [Consulta: 29 de Juliol de 2018]. Disponible a: <https://tarifasgasluz.com/faq/precio-kwh-espana-2018#precio-kwh-luz-2018>>

Tarifasgasluz, 2018. *Precio PVPC según potencia contratada* [Taula 2]. A: *¿Cuánto cuesta el kWh en 2018?* [en línea]. [Consulta: 29 de Juliol de 2018]. Disponible a: <https://tarifasgasluz.com/faq/precio-kwh-espana-2018#precio-kwh-luz-2018>>

11.6 Normativa consultada

Reial Decret 661/2007. *Actividad de producción de energía eléctrica en régimen especial*. 25 de maig de 2007. [en línea]. Disponible a: <https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2007-10556>>

Reial Decret 1110/2007. *Reglamento unificado de puntos de medida del sistema eléctrico*. 24 d'Agost de 2007. [en línea]. Disponible a: <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-2007-16478>>

Reial Decret 1699/2011. *Conexión a red de instalaciones de producción de energía eléctrica de pequeña potencia*. 8 de Desembre de 2011. [en línea]. Disponible a: <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-2011-19242>>

Reial Decret 1/2012. *Supresión de los incentivos económicos para nuevas instalaciones de producción de energía eléctrica a partir de cogeneración, fuentes de energía renovables y residuos*. 28 de Gener de 2012. [en línea]. Disponible a: <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-2012-1310>>

Reial Decret 900/2015. *Condiciones administrativas, técnicas y económicas de las modalidades de suministro de energía eléctrica con autoconsumo y de producción con*

 <div>UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH</div> <div>Escola Superior d'Enginyeries Industrial, Aeroespacial i Audiovisual de Terrassa</div>	<div>Treball de Fi de Grau</div> <div>-Memòria-</div>	<div>Data</div> <div>10/01/2019</div>
		<div>pàgina</div> <div>87 de 88</div>
<div>ESTUDI I ANALISI D'UN SISTEMA DE BAIX COST AMB UN ARDUINO PER LA GESTIÓ DE L'ENERGIA SOBRANT D'UN SISTEMA FOTOVOLTAIC</div>		

autoconsumo. 10 d'Octubre de 2015. [en línia]. Disponible a:
 <<https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2015-10927>>

Reial Decret-Llei 15/2018. *Medidas urgentes para la transición energética y la protección de los consumidores*. 6 d'Octubre de 2018. [en línia]. Disponible a:
 <<https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-2018-13593>>

 <div>UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH</div> <div>Escola Superior d'Enginyeries Industrial, Aeroespacial i Audiovisual de Terrassa</div>	<div>Treball de Fi de Grau</div> <div>-Memòria-</div>	<div>Data</div> <div>10/01/2019</div>
		<div>pàgina</div> <div>88 de 88</div>
<div>ESTUDI I ANALISI D'UN SISTEMA DE BAIX COST AMB UN ARDUINO PER LA GESTIÓ DE L'ENERGIA SOBRANT D'UN SISTEMA FOTOVOLTAIC</div>		

Sumari de documents Annexes

Annex I. Planificació inicial del projecte

Annex II. Dades de radiació de la zona d'interès

Annex III. Model per a la selecció del nombre òptim de panells fotovoltaics

Annex IV. Estudi ECOO Revolución solar

Annex V. Model per a la selecció de la bateria

Annex VI. Fitxa tècnica Bateria Ultracell UCG-230-12

Annex VII. Fitxa tècnica de l'inversor de corrent Spannungswandler

Annex VIII. Fitxa tècnica Carregador Blue Smart IP22

Annex IX. Model Simulació 1 Arena

Annex X. Model Simulació 2 Arena

Annex XI. Excel amb el tractament de dades de la Simulació 1

Annex XII. Excel amb el tractament de dades de la Simulació 2

Annex XIII. Fitxa tècnica Arduino Mega2560

Annex XIV. Fitxa tècnica SCT-013-030

Annex XV. Fitxa tècnica sensor FZ0430

Annex XVI. Fitxa tècnica relé HLS8L

Annex XVII. Excel per determinar l'estalvi en 25 anys considerant l'increment del preu de l'electricitat

Annex XVIII. Excel per a determinar el VAN i la TIR de la inversió